

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

**Приладобудівний факультет
Кафедра інформаційно-вимірювальних технологій**

«На правах рукопису»

До захисту допущено:

УДК _____

В.о. завідувача кафедри

_____ Володимир ЄРЕМЕНКО

« ____ » _____ 2020 р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

**за освітньо-професійною програмою «Інформаційні вимірювальні
технології екологічної безпеки»**

зі спеціальності 152 Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка»

на тему: «Контроль виходу метану в біоенергетичному виробництві»

Виконавля:

студентка II курсу, групи ПН-91мп

Артемчук Вікторія Ігорівна _____

Керівник:

Професор, к.т.н.

Защепкіна Наталія Миколаївна _____

Консультант з «Розроблення стартап-проекту»:

Доцент, д.е.н.,

Бояринова Катерина Олександрівна _____

Консультант із нормоконтролю:

Доцент к.т.н.,

Божко Костянтин Михайлович _____

Рецензент:

к.т.н., ст.вик.,

Богдан Галина Анатоліївна _____

Засвідчую, що у цій магістерській
дисертації немає запозичень з праць
інших авторів без відповідних
посилань.

Студентка _____

Київ – 2020 року

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

Приладобудівний факультет

Кафедра інформаційно-вимірювальних технологій

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність – 152 Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка

Освітньо-професійна програма Інформаційні вимірювальні технології екологічної безпеки

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри

_____ Володимир ЄРЕМЕНКО

«__» _____ 2020 р.

ЗАВДАННЯ

**на магістерську дисертацію студенту
АРТЕМЧУК ВІКТОРІЇ ІГОРІВНИ**

- 1.Тема дисертації «Контроль виходу метану в біоенергетичному виробництві», затверджена наказом по університету від “__” _____ 2020р.
№ _____
- 2.Термін здачі оформленої дисертації “3” грудня 2020 р.
- 3.Об’єкт дослідження – методи та засоби контролю концентрації метану у виході біоенергетичного виробництва.
- 4.Предмет дослідження – процес контролю концентрації метану у виході біоенергетичного виробництва газоаналізатором вибраного схемного рішення.
- 5.Перелік завдань, які потрібно розробити
 - 5.1.Теоретичні дослідження:
 - 5.1.1.Огляд технології біоенергетичного виробництва.
 - 5.1.2.Аналіз методик отримання біогазу в біоенергетичному виробництві.
 - 5.1.3.Характеристика метану як об’єкту аналізу у виході біоенергетичного виробництва та обґрунтування факторів контролю якісних показників біогазу
 - 5.1.4.Огляд методів та засобів засобів контролю концентрації метану в технології виробництва біогазу.
 - 5.1.5.Вибір методу вимірювання концентрації метану у виході біоенергетичного виробництва.
 - 5.1.6.Аналіз схемних рішень сучасних вимірювальних засобів придатних для контролю концентрації метану. Огляд і аналіз сучасних аналогів.
 - 5.2.Експериментальні дослідження:

- 5.2.1.Розробка технічних критеріїв вибору структури вимірювача
- 5.2.2.Розробка схемного рішення газоаналізатору для контролю виходу метану в біоенергетичному виробництві.
- 5.2.3.Вибір та розрахунок вузлів вимірювача концентрації метану у виході біоенергетичного виробництва
- 5.2.4.Визначення сумарної похибки газоаналізатору вибраного схемного рішення і аналіз методів її зменшення.
- 6.Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу
- 6.1.Класифікація сировини для виробництва біогазу
- 6.2.Хімічний склад біогазу що утворюється в результаті анаеробного бродіння або ферментації органічної біомаси.
- 6.3.Схема технології газифікації біомаси.
- 6.4.Схема оптико-акустичного газоаналізатора метану.
- 6.5.Характеристичний спектр поглинання метану.
- 6.6.Схема комбінована структурна оптико-абсорбційного аналізатора CH_4 .
- 6.7.Спектральна характеристика інтерференційного фільтру.
- 7.Перелік публікацій:
- 7.1.Підготувати 4 доповіді на конференції із публікацією тез.
- 8.Консультанти розділів дисертації.

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ 1. ТЕХНОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ БІОЕНЕРГЕТИЧНОГО ВИРОБНИЦТВА ТА ХАРАКТЕРИСТИКА МЕТАНУ ЯК ОБ'ЄКТУ АНАЛІЗУ	Защепкіна Н.М., доктор технічних наук, професор	10.09.2019	10.09.2020
Розділ 2. МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ КОНТРОЛЮ КОНЦЕНТРАЦІЇ МЕТАНУ В ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА БІОГАЗУ	Защепкіна Н.М., доктор технічних наук, професор	28.09.2019	28.09.2020
Розділ 3. РОЗРОБКА СХЕМНОГО РІШЕННЯ ГАЗОАНАЛІЗАТОРУ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ВИХОДУ МЕТАНУ В БІОЕНЕРГЕТИЧНОМУ ВИРОБНИЦТВІ	Защепкіна Н.М., доктор технічних наук, професор	15.10.2020	15.10.2020
Розділ 4. СТАРТАП ПРОЕКТ «УДОСКОНАЛЕННЯ КОНТРОЛЮ ВИМІРЮВАННЯ ТВЕРДИХ ЧАСТОК У ГАЗОВИХ ВИКИДАХ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ»	Бояринова К.О., доктор економічних наук, доцент	10.11.2020	10.11.2020

9. Дата видачі завдання 10 вересня 2020 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1.	Огляд та аналіз технологічних прийомів біоенергетичного виробництва. Обґрунтування факторів контролю якісних показників біогазу.	до 21.09.2019 р.	
2.	Огляд методів та засобів засобів контролю концентрації метану в технології виробництва біогазу	до 05.10.2020 р.	
3.	Аналіз схемних рішень сучасних вимірювальних засобів придатних для контролю концентрації метану	до 15.10.2020 р.	
4.	Розробка технічних критеріїв вибору структури вимірювача	до 24.10.2020 р.	
5.	Розробка схемного рішення газоаналізатору для контролю виходу метану в біоенергетичному виробництві.	до 11.11.2020 р.	
6.	Вибір та розрахунок вузлів вимірювача концентрації метану у виході біоенергетичного виробництва	до 20.11.2020 р.	
7.	Розробка стартап проекту	до 25.11.2020 р.	

Студент

Вікторія АРТЕМЧУК

Науковий керівник

Наталія ЗАЦЕПКИНА

РЕФЕРАТ

Біоенергетика є одним із найбільш перспективних напрямків відновлюваної енергетики в Україні. Вона заснована на використанні енергії з біомаси – вуглецевого матеріалу рослин і тварин. На відміну багатьох інших видів відновлюваних джерел енергії, біомаса є багатоцільовим джерелом енергії, яке може використовуватися для виробництва електроенергії та тепла та виробництва біопалива для транспорту.

Актуальність теми. На сьогодні зменшення споживання природного газу є однією з найбільш актуальних проблем для української економіки, тому використання альтернативних джерел енергії та впровадження технологій енергозберігання є актуальним завданням, що зменшує залежність від імпортованої енергії та підвищує енергетичну безпеку. Енергетичні ресурси потрібні для різних галузей промисловості та забезпечення індивідуальних потреб людей.

Виробництво та використання біогазу у якості джерела енергії є одним із важливих напрямків розвитку «зеленої енергетики» у аспекті створення нових відновлюваних джерел енергії. За останні роки значно зросла актуальність процесів виробництва біогазу та раціонального використання відходів сільськогосподарського виробництва.

Особливе місце посідає в альтернативній енергетиці переробка біомаси (відходів сільського господарства, органічних і побутових) методом метанового бродіння. В результаті – утворюється біогаз, що є сукупністю гомологів метану C_xH_y і газових домішок та твердий залишок, який використовують як якісне добриво.

Метою роботи є контроль виходу метану в біоенергетичному виробництві.

Для досягнення цієї мети необхідно вирішити наступні **завдання**:

- провести огляд технологій отримання біогазу в біоенергетичному виробництві.

- зробити аналіз методів та засобів контролю концентрації метану в технології виробництва біогазу.

- виконати вибір методу вимірювання концентрації метану у виході біоенергетичного виробництва.

- проаналізувати схемні рішення сучасних вимірювальних засобів придатних для контролю концентрації метану.

- розробити технічні критерії вибору структури вимірювача

- провести аналіз схемного рішення газоаналізатору для контролю виходу метану в біоенергетичному виробництві.

- вибрати та розрахувати вузли вимірювача концентрації метану у виході біоенергетичного виробництва

- визначити сумарну похибку газоаналізатору вибраного схемного рішення і аналіз методів її зменшення.

Об'єкт дослідження – методи та засоби контролю концентрації метану у виході біоенергетичного виробництва.

Предмет дослідження – процес контролю концентрації метану у виході біоенергетичного виробництва газоаналізатором вибраного схемного рішення.

Наукова новизна полягає в розробці приладу для контролю метану з використанням оптико-адсорбційному методі аналізу у інфрачервоній області спектру.

Практична цінність полягає в ефективно розробленому газоаналізаторі для контролю виходу метану в біоенергетичному виробництві.

Апробація роботи. За результатами роботи було виконано та надруковано наступні публікації, що знаходяться в додатку А-Г:

1. Артемчук В.І. Контроль виходу метану у біоенергетичному виробництві / О. В. ДОВГА, В. В. ЮНИК // Вісник Хмельницького національного університету, серія «Технічні науки». – 2020. – №5. – С.7-13.

2.Защепкіна Н.М. Актуальність біоенергетичного виробництва метану в Україні / В.І. Артемчук, В.В. Юник, О.А. Осипенко // Матеріали XVI Всеукраїнської науково-практичної конференції «Ефективність та автоматизація інженерних рішень у приладобудуванні», ПБФ, КПІ ім. Ігоря Сікорського, 08-09 грудня 2020 року., Київ, Україна, 2020. С.160-166.

3.Защепкіна Н.М. Вплив складу атмосфери на урожайність трав'янистих рослин / Матеріали XIII Науково-практична конференція «Погляд у майбутнє приладобудування» ПБФ, КПІ ім. Ігоря Сікорського, 13-14 травня 2020 року., Київ, Україна, 2020. С.168-170.

4.Артемчук В.І. Контроль запиленості повітря за допомогою мобільного додатку / Б.І. Мединцев // Матеріали XV Всеукраїнська науково-практична конференція «Ефективність інженерних рішень у приладобудуванні», ПБФ, КПІ ім. Ігоря Сікорського, 10-11 грудня 2019 року., Київ, Україна, 2019. С.238-240.

Структура та обсяг роботи. Робота складається з вступу, трьох розділів, висновків, 46 рисунків, 36 таблиць, списку використаних джерел із 37 позицій. Загальний обсяг роботи – 148 сторінки, з яких основна частина викладена на 103 сторінках.

Ключові слова: біогаз, оптико-адсорбційний метод, концентрація, метан, альтернативна енергетика, газоаналізатор.

ABSTRACT

Bioenergy is one of the most promising areas of renewable energy in Ukraine. It is based on the use of energy from biomass - the carbon material of plants and plants. Unlike many other types of renewable energy sources, biomass is a multi-purpose energy source that can be used to generate electricity and heat and to produce biofuels for transport.

Actuality of theme. Today, reducing natural gas consumption is one of the most pressing problems for the Ukrainian economy, so the use of alternative energy sources and the introduction of energy saving technologies is an urgent task that reduces dependence on imported energy and increases energy security. Energy resources are needed for various industries and to meet the individual needs of people.

Production and use of biogas as an energy source is one of the important areas of development of "green energy" in terms of creating new renewable energy sources. In recent years, the relevance of biogas production processes and the rational use of agricultural waste has increased significantly.

A special place in alternative energy is occupied by the processing of biomass (agricultural waste, organic and household) by methane fermentation. As a result, biogas is formed, which is a set of homologues of methane C_xH_y and gaseous impurities and a solid residue, which is used as a quality fertilizer.

The aim of the work is to consider the methods and means of controlling the release of methane in the production of energy from biomass.

To achieve this goal it is necessary to solve the following **tasks**:

- to review the technologies of biogas production in bioenergy production.
- to make the analysis of methods and means of means of control of concentration of methane in technology of production of biogas.
- to choose the method of measuring the concentration of methane in the output of bioenergy production.
- to analyze the circuit solutions of modern measuring instruments suitable for controlling the concentration of methane.

- to develop technical criteria for choosing the structure of the meter
- to analyze the circuit solution of the gas analyzer to control the release of methane in bioenergy production.
- select and calculate the units of the methane concentration meter at the output of bioenergy production
- to determine the total error of the gas analyzer of the selected circuit solution and analysis of methods to reduce it.

The object of research - methods and means of controlling the concentration of methane in the output of bioenergy production.

The subject of research is the process of control of methane concentration in the output of bioenergy production by the gas analyzer of the selected circuit solution.

Scientific novelty is the development of a device for the control of methane using the optical-adsorption method of analysis in the infrared region of the spectrum.

Practical value lies in the effectively designed gas analyzer to control the release of methane in bioenergy production.

Approbation of work. Based on the results of the work, the following publications were made and published in the application:

- 1.Artemchuk V.I. Control of methane yield in bioenergy production / O.V. DOVHA, V.V. YUNYK // Bulletin of Khmelnytsky National University, series "Technical Sciences". - 2020. - №5. - P.7-13.
- 2.Zashchepkina N.M. The relevance of bioenergy methane production in Ukraine / V.I. Артемчук, В.В. Юник, О.А. Osipenko // Proceedings of the XVI All-Ukrainian scientific-practical conference "Efficiency and automation of engineering solutions in instrument making", PBF, KPI. Igor Sikorsky, December 8-09, 2020., Kyiv, Ukraine, 2020. P.160-166.
- 3.Artemchuk V.I. Control of air dustiness by means of the mobile application / B.I. Medintsev // Proceedings of the XV All-Ukrainian scientific-practical conference

"Efficiency of engineering solutions in instrument making", PBF, KPI. Igor Sikorsky, December 10-11, 2019., Kyiv, Ukraine, 2019. P.238-240.

4.Zashchepkina N.M. The influence of the composition of the atmosphere on the yield of herbaceous plants / Artemchuk V.I. // Proceedings of the XIII Scientific and Practical Conference "Look into the future of instrumentation" PBF, KPI. Igor Sikorsky, May 13-14, 2020., Kyiv, Ukraine, 2020. P.168-170.

Structure and scope of work. The work consists of an introduction, three sections, conclusions, 46 figures, 36 tables, a list of sources used from 37 positions. The total volume of the work is 148 pages, of which the main part is set out on 103 pages.

Key words: biogas, optical-adsorption method, concentration, methane, alternative energy, gas analyzer.

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

АГС – аналізована газова суміш;

ВДЕ – відновлювані джерела енергії;

ВГ – відпрацьовані гази;

ГА – газоаналізатор;

ГДК – граничнодопустима концентрація;

ІЧ – інфрачервоний;

ІТТФ – Інститут технічної теплофізики;

ККД – коефіцієнт корисної дії;

ОП – операційний підсилювач;

ПВП – первинний вимірювальний перетворювач;

ПГС – повірочна газова суміш;

СПП – система подачі проби;

ЗМІСТ

ВСТУП	14
РОЗДІЛ 1 ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ БІОЕНЕРГЕТИЧНОГО ВИРОБНИЦТВА ТА ХАРАКТЕРИСТИКА БІОГАЗУ ЯК ОБ'ЄКТУ АНАЛІЗУ	16
1.1 Огляд альтернативних методів виробництва енергії	16
1.2 Характеристика технологій метанового виробництва із біомаси	18
1.3 Механізми отримання енергії із різних видів біомаси	22
1.4 Особливості застосування технологій біометанового виробництва в Україні	23
1.5 Аналіз методик отримання біогазу в біоенергетичному виробництві ..	27
1.5.1 Отримання біогазу в процесі газифікації деревини	27
1.5.2 Виробництво біогазу при переробці залишків сільського господарства	29
1.5.3 Метод прямої конверсії біомаси	31
1.6 Характеристика метану як об'єкту аналізу у виході біоенергетичного виробництва	32
1.7 Обґрунтування факторів контролю якісних показників біогазу	34
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 1	36
РОЗДІЛ 2. МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ КОНТРОЛЮ КОНЦЕНТРАЦІЇ МЕТАНУ В ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА БІОГАЗУ	37
2.1 Аналіз методів вимірювання концентрації метану і обґрунтування вибору методу	38
2.1.1 Метод електропровідності	39
2.1.2 Електричний метод вимірювання концентрації метану	40
2.1.3 Іонометричний метод вимірювання	41
2.1.4 Метод газової хроматографії у визначенні відносних концентрацій метану	41
2.1.5 Огляд термокондуктометричного методу вимірювання концентрації CH_4	45
2.1.6 Термохімічний метод вимірювання	48
2.1.7 Напівпровідниковий адсорбційний метод	50
2.1.8 Оптично-акустичний метод контролю концентрації метану	54
2.1.9 Оптично-адсорбційний метод контролю концентрацій вуглеводнів	56
2.2 Вибір методу вимірювання концентрації метану у виході біоенергетичного виробництва	59
2.3 Аналіз схемних рішень сучасних вимірювальних засобів придатних для контролю концентрації метану	61
2.4 Огляд і аналіз сучасних аналогів	70
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 2	76

РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА СХЕМНОГО РІШЕННЯ ГАЗОАНАЛІЗАТОРУ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ВИХОДУ МЕТАНУ В БІОЕНЕРГЕТИЧНОМУ ВИРОБНИЦТВІ.....	77
3.1 Технічні критерії вибору структури вимірювача	77
3.2 Вибір робочого діапазону аналізатору метану	79
3.3 Загальна схема оптико-абсорбційного газоаналізатора метану	80
3.4 Вибір вузлів вимірювача концентрації метану у виході біоенергетичного виробництва	83
3.4.1 Розрахунок кюветного відділення.....	84
3.4.2 Розрахунок значення потоку випромінювання.....	86
3.4.3 Розрахунок вихідного сигналу	88
3.4.4 Вибір фотоприймача та розрахунок його характеристик	90
3.5 Сумарна похибка газоаналізатору і аналіз методів її зменшення.....	93
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 3	96
РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЕКТУ «КОНТРОЛЬ ВИХОДУ МЕТАНУ В БІОЕНЕРГЕТИЧНОМУ ВИРОБНИЦТВІ»	97
4.1 Опис ідеї проекту	97
4.2 Аналіз ринкових можливостей запуску стартаппроекту	100
4.3 Розроблення ринкової стратегії проекту	108
4.4 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту	110
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 4	114
ВИСНОВКИ.....	116
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	118
ДОДАТОК А.....	122
ДОДАТОК Б	131
ДОДАТОК В.....	139
ДОДАТОК Г	144

ВСТУП

Біоенергетика - одна з найперспективніших сфер відновлюваної енергетики в Україні. Збільшення кількості нових біогазових установок, призводить до зацікавленості в Україні все більшого числа фермерів, комунальних господарств, приватних господарств та державних контролюючих органів. [1]

Актуальність теми. На даному етапі розвитку енергетичного сектору України біоенергетика є галуззю альтернативної енергетики, що розвивається найбільш динамічно. Прогрес спонукає на розвиток енергетичної галузі, а саме використання енергозберігаючих технологій та альтернативних енергетичних джерел. Загроза вичерпання джерел палива корисних копалин, для потреб людства, набуває необхідність пошуку альтернативних джерел палива для забезпечення енергетичних потреб України. Найефективнішим і універсальним енергоносієм з поміж інших біологічних видів палива є біогаз, що добувається з відновлюваної сировини та органічних відходів. Виробництво біогазу та його споживання, може відбуватись безпосередньо на місці виробництва, забезпечуючи електроенергію та тепло. Отриманий біогаз, після процесів очищення та збагачення, може відправлятись у спільну газорозподільну мережу.

Український енергетичний потенціал при використанні біогазу є досить значним. Виробництво біогазу із твердих побутових відходів та відходів сільського господарства, допомагає проблемі їх утилізації. Завдяки цьому з'являється можливість зменшити техногенне навантаження на навколишнє середовище. При виробництві біогазу із відходів сільського господарства утворюються органічні добрива. Тому, важливим є використання значного потенціалу біоенергетики України в повному обсязі.

Метою роботи є контроль виходу метану в біоенергетичному виробництві.

Для досягнення цієї мети необхідно вирішити наступні **завдання**:

- провести огляд технологій отримання біогазу в біоенергетичному виробництві.

- зробити аналіз методів та засобів контролю концентрації метану в технології виробництва біогазу.

- виконати вибір методу вимірювання концентрації метану у виході біоенергетичного виробництва.

- проаналізувати схемні рішення сучасних вимірювальних засобів придатних для контролю концентрації метану.

- розробити технічні критерії вибору структури вимірювача

- провести аналіз схемного рішення газоаналізатору для контролю виходу метану в біоенергетичному виробництві.

- вибрати та розрахувати вузли вимірювача концентрації метану у виході біоенергетичного виробництва

- визначити сумарну похибку газоаналізатору вибраного схемного рішення і аналіз методів її зменшення.

Об'єкт дослідження – методи та засоби контролю концентрації метану у виході біоенергетичного виробництва.

Предмет дослідження – процес контролю концентрації метану у виході біоенергетичного виробництва газоаналізатором вибраного схемного рішення.

РОЗДІЛ 1 ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ БІОЕНЕРГЕТИЧНОГО ВИРОБНИЦТВА ТА ХАРАКТЕРИСТИКА БІОГАЗУ ЯК ОБ'ЄКТУ АНАЛІЗУ

У більшості розвинених країн масштаби використання «зеленої енергетики» стрімко зростають та отримують всебічне сприяння та підтримку на державному рівні: податкові послаблення, спрощений режим ввозу необхідного для роботи «зеленої енергетики» обладнання, пільгові умови продажу підприємствами галузі виробленого продукту, довготермінові контракти із державними профільними агентствами.[2]

Величезне значення має розвиток відновлювальної енергетики у виробництві енергії та збільшення кількості відновлюваних джерел в енергобалансі країни. Найперспективніший напрям отримання енергії у процесі переробки біомаси в Україні це використання відходів сільського господарства.

1.1 Огляд альтернативних методів виробництва енергії

Альтернативні джерела енергії – це природні явища, які утворюються в спеціальних установках, отримується теплова або електрична енергія (рис. 1.1). Україна лише частково забезпечує себе власними енергоресурсами тому змушена імпортувати приблизно 65% викопних енергоносіїв. Виникає питання розвитку нетрадиційних та відновлюваних енергетичних ресурсів в Україні що забезпечує енергетичну незалежність. Електроенергію можна виробляти не тільки з гідроенергетичних, атомних або теплових електростанцій, які працюють на вугіллі, нафті, природному газі та горючих сланцях, але також використовувати альтернативні джерела енергії - вітер, припливи, сонячну радіацію, геотермальні, хвильові електростанції або теплові електростанції, що працюють на біомасі.

Проаналізувавши доступні дані розвитку енергетичного сектору України за останні роки, можна зробити висновок, що використання й виробництво

біогазу може забезпечити додаткове джерело грошових надходжень, та збільшить кількість робочих місць. Налагодження виробництва біогазу в Україні відкриває шлях до енергетичної незалежності. Виробництво біогазу є інвестиційно вигідною та ефективною технологією через наявність великого сировинного потенціалу, вигідні природно-кліматичні умови та низьку собівартість вихідної сировини.



Рисунок 1.1 - Класифікації альтернативних джерел енергії

Кількість відновлювальних джерел енергії в світовому енергетичному балансі незначна – близько 14%, а внесок біомаси – лише близько 1,8% [1]. Біомаса посідає четверте місце за значенням палива у світі, що створює близько 2 млрд. тон відходів на рік. В абсолютних величинах – це становить практично 14% загального споживання первинних енергоносіїв. Таким чином, можна стверджувати, що понад 70% об'єму поновлювальних джерел енергії проходиться на вихід із біомаси [1]. Враховуючи все вищесказане, можна зробити висновок, що перехід до раціонального використання відновлювальних джерел енергії є у наш час головною світовою тенденцією. Використання та виробництво біопалива зростає в усьому світі, особливо у країнах Європи.

Отримання тепла досягається спалюванням відновлюваного палива – біогазу, біоетанолу, паливних гранул тощо. Ресурси цих джерел величезні, але не використовуються. Задовільнити потреби людства можливо або при економії енергії або при використанні альтернативних джерел. Використовуючи біомаси в енергетичних цілях матиме величезні перспективи, що дозволяє використовувати відходи сільськогосподарств й отримання палива. [3]

Україна має необмежені джерела енергії з біомаси. Більшою часткою є сільськогосподарські й деревино-лісові відходи промисловості, які розташовані нерівномірно по території, північно-західній області - деревинна біомаса, в південно-східній й центральному регіоні сільськогосподарські відходи.

1.2 Характеристика технологій метанового виробництва із біомаси

Органічна речовина рослинного або тваринного походження – біомаса, яка в результаті хімічних трансформацій використовується як альтернативне джерело енергії. Під час виробництва та переробки органічної продукції утворюється велика кількість біомаси. Основними формами біомаси є деревина, солома, шлам стічних вод та міські відходи

Одним із продуктів переробки біомаси є піролізний газ, що використовується для роботи двигунів внутрішнього згоряння. Біогаз отримується з відходів тваринного або рослинного походження через ферментацію тваринного посліду та отримання біогазу з відстоїв органічних стоків, відходів із сміттєзвалищ. Сьогоденні світові ресурси біомаси складають приблизно 44 ЕДж енергії на рік. Підтверджені ресурси на світовому ринку складають приблизно 276 ЕДж на рік. [5]

Біогенезом (виробництвом біогазу) найчастіше називають метанове «бродіння» - процес перетворення біомаси в енергію. Вироблений у процесі біоенергетичного виробництва газ придатний до використання у сучасних

засобах теплоенергетики – газових турбінах. Під час роботи генераторної установки синтезований біогаз згоряє рухаючи турбіну, яка в свою чергу обертає генератор що виробляє електроенергію. Найвдалішим використанням біогазу в газових турбінах є підмішування очищеного біогазу в суміш природного газу та повітря. Так як процес генерації проходить при високому тиску, очищення біогазу від домішок, та приведення його хімічного складу до нормованих значень є необхідним, для уникнення пошкодження лопатей турбіни генераторного пристрою. Змішування компонентів робочої газової суміші проводять в спеціальних установках.

Для виробництва біогазу використовують сировину, що має здатність метанового бродіння. Таку сировину можна умовно поділити на три категорії (рис. 1.2). [2]



Рисунок 1.2 - Класифікація сировини для виробництва біогазу.

Матеріал що може самостійно виконувати ферментацію – основний матеріал- це гній, гноївка, молода трава. Матеріал, до якого додаються інші речовини для бродіння - допоміжний - це залишки їжі, переробка фруктів, жирів, органічних продуктів, біодеградуєча патока, побутові стічні води тощо. [3].

В результаті проходження ферментативних процесів розкладання органічної сировини отримують так званий горючий газ в неочищеній формі. Горючий газ – біогаз, що утворюється в результаті бродіння різноманітної біомаси, містить до 50-75 % метану (CH_4), до 25-50% вуглекислого газу CO_2 , 0-10% водяної пари H_2O , 0,01-5% азоту N_2 , 0,01-2% кисню O_2 , 0-1% водню H_2 , 0,01-2,5 мг/м³ аміаку NH_3 , 10-30 мг/м³ сірководню H_2S (рис.1.3) [2].

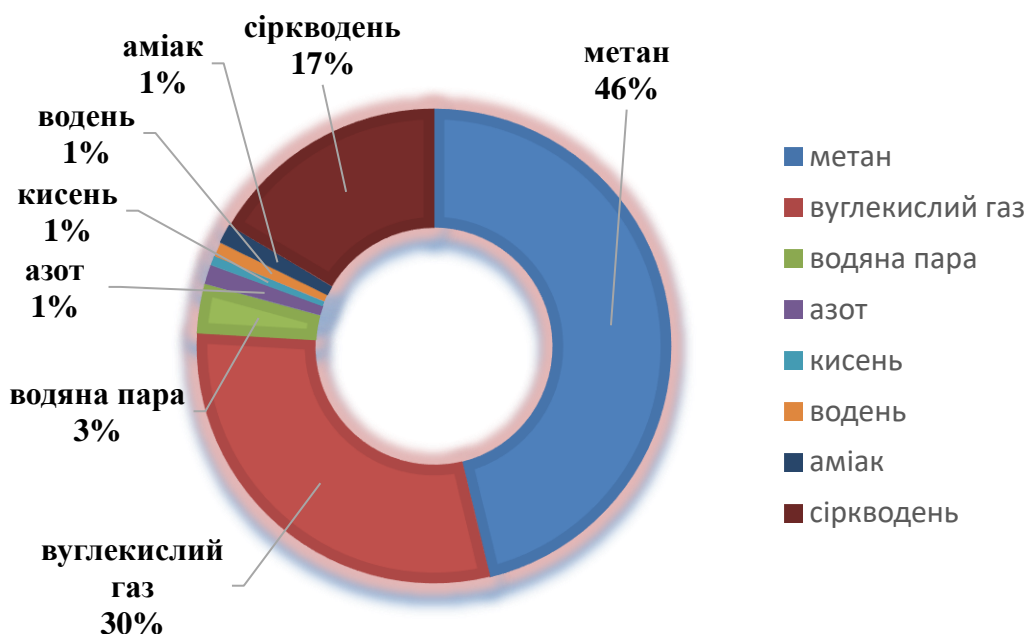


Рисунок 1.3 - Хімічний склад біогазу що утворюється в результаті анаеробного бродіння або ферментації органічної біомаси.

У процесі природного розкладання органічної маси за допомогою мікробів при анаеробних умовах (при наявності вологого середовища та відсутності кисню) утворюється біогаз по типу метанового бродіння. Найбільшу частину компоненту біогазу займає горючий газ метан, вміст якого змінюється відповідно до типу сировини та перебігу процесу бродіння.

Завдяки природньому процесу мікробного розкладання органічної маси в вологому середовищі за відсутності кисню(анаеробних умовах) утворюється – біогаз. Перевагою виробництва енергії з біогазу є не шкідливі викиди для навколишнього середовища, тому що це не призводить до емісії парникового газу CO_2 та сприяє зменшенню кількості органічних відходів. Ще однією перевагою є те, що виробництво біогазу можливо незалежно від погоди та клімату, на відміну від енергії вітру та сонячної радіації що потребує ретельного вибору місця розташування генеруючи потужностей.

Ефективним способом отримання енергії з біомаси є синтез біогазу шляхом анаеробного бродіння або ферментації. Утворений у даному процесі легкозаймистий газ – біогаз, що утворюється у процесі розкладу біомаси різної природи та походження, характеризується гарними показниками термічного розкладу при окисненні та практично не відрізняється по питомій теплоємності від викопного газу. [2]

Виробництво біогазу дозволяє забезпечити замкнутий цикл виробництва перетворення енергії органічних відходів, та застосувати вміст поживних речовин у вигляді збалансованих біодобрив та повернення їх на поля. Адже залишки в процесі бродіння на біогазових установках використовуються як добрива. Вони мають велику кількість мікроелементів, комплексу NPK (азот, калій, фосфор) та є гарним мінеральним добривом.

Залишки бродіння містять 30% вмісту азоту, до 20% - калію та фосфору. Тому для збереження родючості ґрунту досить додати залишки біогазу що утворилися у процесі бродіння і замінити 30% азоту мінеральними добривами або безводним аміаком. Виробництво на заводах 1 м^3 біогазу еквівалентно по виходу залишків органічної продукції приблизно 5,4 кг твердих та 16,8 кг рідких біологічних добрив.

Отже, перевагами використання біогазу є отримання з нетрадиційної сировини, при цьому отримуємо добрива й кормові добавки очищення стічних вод.

Недоліками є при отриманні і використанні біогазу є витрата кисню при спалюванні біогазу та викид мілкодисперсних домішок у атмосферне повітря (сажа, продукти неповного згоряння), тривалість процесу бродіння, для процесу бродіння необхідно ємкість значного об'єму. Тому важливим є забезпечення контролю процесів технології метанового бродіння об'єктивними засобами контролю, що дозволяють вимірювати фізико-хімічні показники біогазу.

1.3 Механізми отримання енергії із різних видів біомаси

Біомаса - це будь-яка речовина рослинного походження призначена для енергетичних цілей. Таким чином, поряд із спеціально розробленими для енергетичних цілей речовинами, біомасою є всі продукти сільсько-господарських і лісових робіт, відходи сільськогосподарської продукції та продуктів харчування, призначених для споживання людиною, що не піддавалися хімічній обробці, відходи лісопереробної промисловості та виробництва паперу. Короткий період відновлення дозволяє біомасі входити в список відновлюваних джерел енергії, оскільки час використання речовини порівняно з часом відновлення є досить короткий.

Оскільки поняття відновлюваності джерела енергії включає в себе і екологічну відповідальність, потрібно щоб біомаса, особливо рослинного походження, виготовлялася з мінімальним або нульовим впливом на навколишнє середовище (наприклад, еко-виробництво сільськогосподарської продукції). Наприклад, за механізмом виходу енергії рослинну біомасу можна розділити на 2 групи: первинна сировина для виробництва енергії: рослинні рештки; вторинна енергетична сировина – біогаз, метанол, етанол, складні ефіри й ріпакові олії; Механізми отримання енергії з біомаси рослинного походження показано на рис. 1.4.



Рисунок 1.4 - Механізм отримання енергії із рослинної сировини

1.4 Особливості застосування технологій біометанового виробництва в Україні

Найперспективнішою складовою відновлювальної енергетики України є біоенергетика. На сьогодні скорочення використання природного газу – одна з найактуальніших тем для економіки України. Тому пошук альтернативних джерел енергії та впровадження енергозберігаючих технологій є актуальною задачею, оскільки дозволяє зменшити її залежність від імпортованих енергоносіїв та підвищити енергетичну безпеку. Енергетичні ресурси в наш час потрібні для різних галузей промисловості та забезпечення індивідуальних потреб людей.

Виробництво та використання біогазу у якості джерела енергії є одним із важливих напрямків розвитку «зеленої енергетики» у аспекті створення нових відновлюваних джерел енергії.

В Україні при виробництві біогазу для біогазових установок використовують сировину, яку можна поділити на три категорії:

- сільськогосподарська: гній, енергетичні культури, гноївка, залишки біомаси, та ін.;
- промислова: відходи скотобоєнь, молочних і цукрових заводів; крохмаль, фармацевтичної, косметичної та паперової промисловості;
- господарська: органічні відходи, комунальні стоки, та ін. [4].

Залежно від вмісту в субстраті пропорції вуглеводів, білків та жирів, різні субстрати матимуть різні потенціали виходу біогазу, від чого залежать різний вміст метану що можна отримати на виході (рис. 1.5).

Перевагою виробництва енергії з біогазу в умовах України є відсутність шкідливих викидів для навколишнього середовища, тому що не відбувається емісія парникового газу CO_2 . Також це сприяє зменшенню кількості органічних відходів. Ще однією перевагою отримання біогазу є незалежність від кліматичних та погодних умов, на відміну від енергії вітру та сонячного випромінювання. У порівнянні з викопними джерелами енергії біогаз в Україні має величезний відновлювальний потенціал. Теоретичний річний потенціал біогазу в Україні становить 3,2 млрд. м^3 .

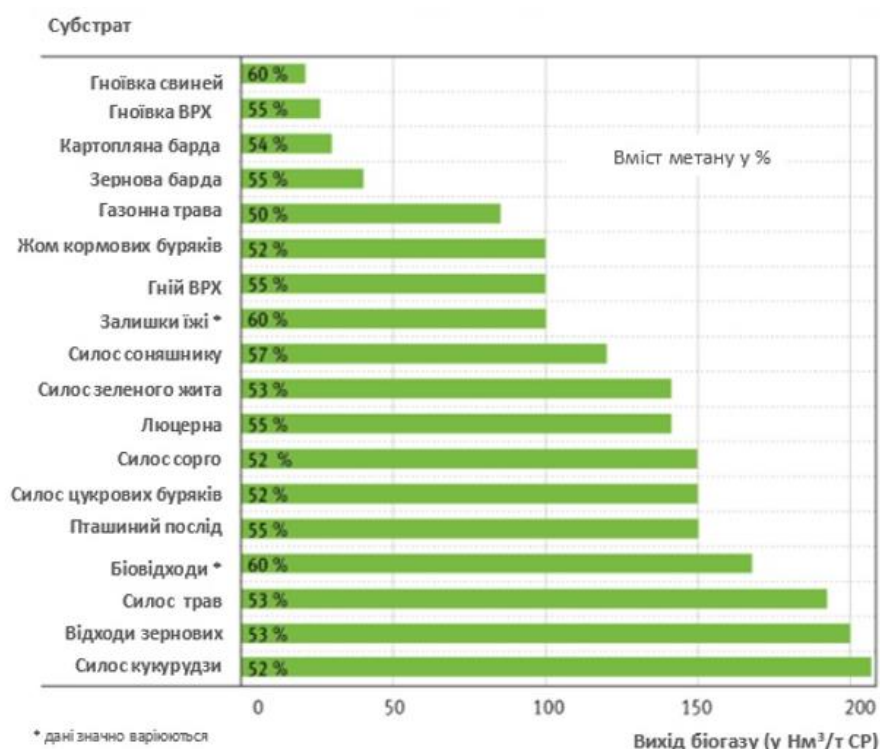


Рисунок 1.5 - Вихід біогазу залежно від виду сировини.

Замкнений цикл виробництва забезпечує енергетичне перетворення органічних відходів, утворюючи особливий тип органічних добрив речовин, що при модифікації набувають властивостей збалансованих біодобрив та застосовуються в аграрному секторі. Залишки від процесу бродіння у біогазових установках мають значну кількість органічного субстрату, що дозволяє збільшити ефективну родючість ґрунтів.

Використання залишків бродіння, як добрива, зменшує викиди парникових газів майже у 3 рази, на відміну від традиційних добрив (рис. 1.6.). Залишки метанового бродіння завдяки своїй консистенції та хімічному складу легко проникають в ґрунт.

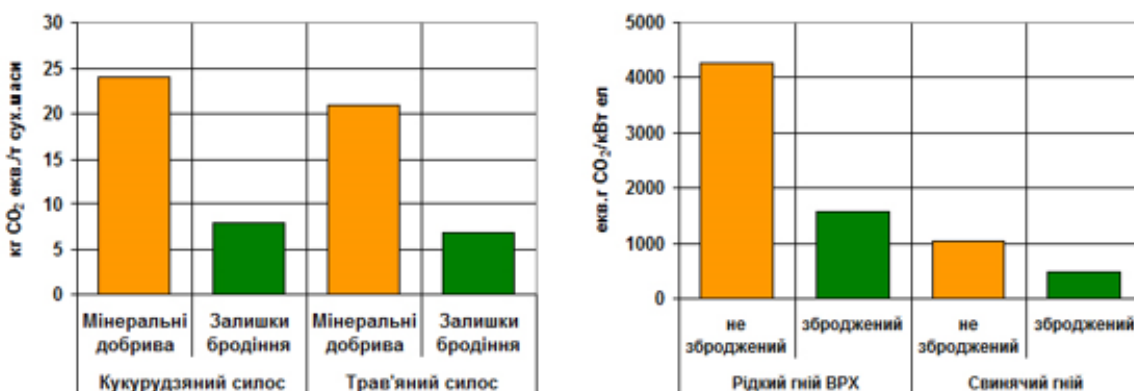


Рисунок 1.6 - Скорочення викидів парникових газів при застосування залишків метанового бродіння

За відомостями Latifundist, станом на листопад 2019 року, в Україні працює лише 20 великих станцій біогазового виробництва. Деякі з них працюють на сільськогосподарських відходах, інші – утилізують звалища промислових відходів. В порівнянні із Німеччиною, на території якої нараховується до 8 тис. біогазових установок – кількість станцій біогазового виробництва в Україні поки що незначна. В той же час, в загальному, на території Європи діє до 14,5 тис. біогазових станцій, причому їх кількість постійно зростає (рис. 1.7).

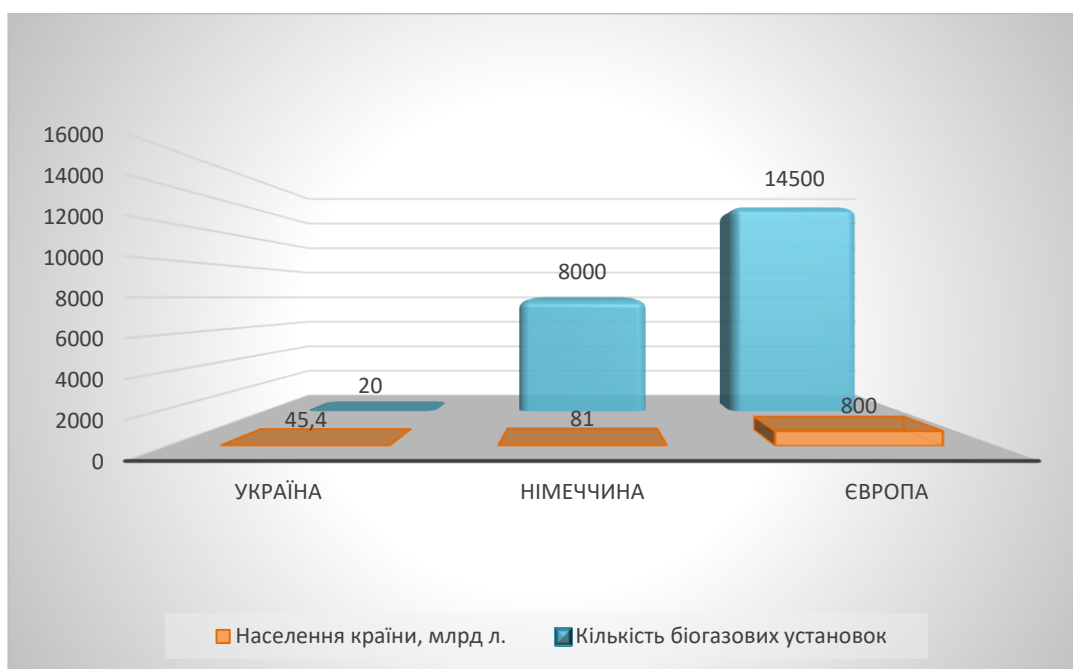


Рисунок 1.7 - Кількість біогазових установок в Україні, Німеччині та Європі відповідно до населення країн.

Таким чином, враховуючи перспективи агросектору України, розвиток біогазового виробництва у нашій країні є досить актуальним. Аналізовані дані [3] показують стрімкий розвиток впровадження у виробництво інноваційних ресурсозберігаючих технологій біогазового виробництва за останні роки. Австрія, Італія, Німеччина, Польща та інші країни Європейського Союзу на протязі 20 років досягли значних висот у використанні поновлювальних джерел енергії з подальшим удосконаленням технологій отримання альтернативної енергії.

На даний момент, можна стверджувати, що в Україні існує дефіцит власних викопних енергоносіїв для забезпечення сталого розвитку. В свою чергу – це створює енергетичну та економічну залежність від країн постачальників енергоресурсів. Альтернативою є біогаз, що утворюється з відходів різного біологічного походження та має головну перевагу – приналежність до відновлювальних джерел енергії.

При вирощування в Україні сільськогосподарських культур на площі 3,5 млн. гектарів є можливість виробляти щорічно близько 51,7 млрд.м³

біогазу. Це дозволяє частково або повністю відмовитись від імпорту природного газу, зменшити викиди парникових газів, створити нові робочі місця та виконати вимоги Європейського енергетичного співавторства.

1.5 Аналіз методик отримання біогазу в біоенергетичному виробництві

Технології використання біомаси постійно вдосконалюються, забезпечуючи отримання енергії в придатній для споживача формі й з максимально можливою ефективністю. У загальному випадку енергія з органічних відходів отримується або фізичними, або хімічними чи мікробіологічними методами. Фізичним методом енергію отримують шляхом спалювання органічних відходів. Основою хімічного метода є використання процесів піролізу і газифікації.

1.5.1 Отримання біогазу в процесі газифікації деревини

Основою отримання піролізного деревного і вугільного газу є технологія газифікації, що частково окислює біомасу. Потім застосування газифікованої суміші може бути придатним у якості енергоносія для двигунів внутрішнього згоряння, що обертають генератори електричного струму. [4].

За останні роки Україна є лідером в Європі по експорту необробленої деревини, різаного бруса та продукції деревобробної промисловості із низької додаткової собівартістю. У процесі лісозаготівельних робіт утворюється велика кількість залишків деревини, що може бути використана у піролізних установках.

Особливістю методу термічного піролізу деревини є процес розкладання органічної сировини без доступу кисню або інших окисників. У процесі газифікації деревини утворюється хімічний багатокомпонентний продукт – суміш горючих газів (рис. 1.8).



Рисунок 1.8 - Кількісний склад горючої суміші утвореної у процесі піролізу

Процес піролізу починається при температурі від 200°C до 900°C. Важливим є забезпечення контролю температури піролізу та тиску в піролізному реакторі. Процес газифікації біомаси зображено на рисунку 1.9.

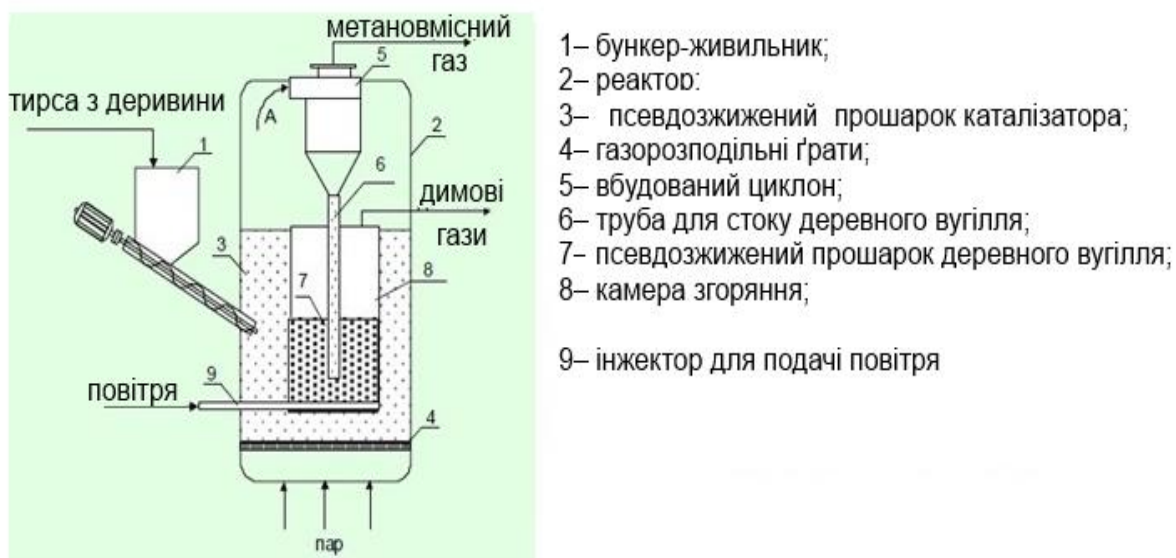


Рисунок 1.9 - Схема технології газифікації біомаси (деревини)

У якості біомаси, що проходить процес піролізу для газифікації використовують також дерев'яну тирсу, тріски, гранульовану соломку, лузгу або гранульовані органічні відходи. Сучасні технології змушують застосовувати біомасу з невеликою кількістю зольних залишків.

Енергетичний потенціал України при використанні піролізної сировини складає 2,13 млн. т. Більш ніж 1,48 млн. т. є доцільним застосувати для опалення. Кількість лісосічних відходів в Україні які можна було б використати як паливо складає більш ніж 50%. Найбільшими відходами є деревинні відходи деревообробної й лісозаготівельної промисловості.

1.5.2 Виробництво біогазу при переробці залишків сільського господарства

Сільгосподарське виробництво є основним постачальником сировини для виробництва біогазу із продукції рослинництва та тваринництва. До вихідної речовин, що утворює основну біомасу, утворену в процесі функціонування сільського господарства можна віднести гній та послід тварин, залишки рослинної продукції: солома зернових, хліб, стебло кукурудзи, гички з цукрових буряків, бадилля картопляне. Здебільшого, 90% усієї маси органічних відходів сільського господарства є солома.

У процесі утилізації біомаси отримується біогаз у процесі метаногенезу. Після проходження усіх реакцій у результаті залишається органічна маса що не піддається розкладу мікроорганізмами (шлам) та органічна рідина (надосадна). Вона використовують як комплексне органічне добриво. Структурна схема технології отримання біогазу у процесі метанового бродіння показано на рис. 1.10.

Метаногенез є основним етапом виробництвом біогазу. Метаногенез є процесом ферментації біомаси й гною, за допомогою природної метаногенної мікрофлори в анаеробних умовах. Даний процес відбувається стадійно та проходить 4 етапи:

На першій стадії високомолекулярні біологічні сполуки (вуглеводи, білки, жироподібні речовини, нуклеїнові кислоти, гліколіпіди, стероїди, фосфогліцериди, віск) розпадаються на низькомолекулярні органічні речовини, а саме: амінокислоти, олігосахариди та пептиди пуринових та

піримідинових азотистих основ, гліцерин, карбонові кислоти та вуглекислий газ та водень. Розпадаються органічні сполуки за допомогою гідролізу у процесі роботи анаеробних мікроорганізмів що не утворюють спор.

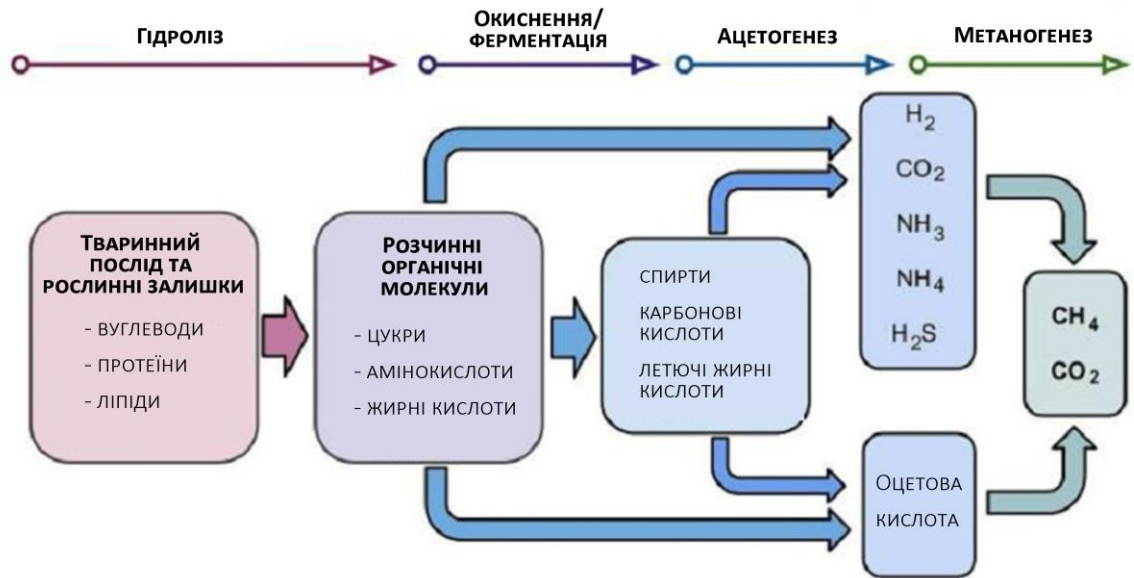


Рисунок 1.10 - Схема циклу утворення біогазу.

На стадії окислення / ферментації бактерії, які беруть участь у другому етапі утворення біогазу, розщеплюють складні органічні з'єднання (клітковину, білки, жири та ін.) в більш прості. При цьому в середовищі бродіння з'являються первинні продукти бродіння – летючі жирні кислоти, нижчі спирти, водень, окис вуглецю, оцтова і мурашина кислоти та ін. Ці органічні речовини є джерелом живлення для метаноутворюючих бактерій, які перетворюють органічні кислоти в біогаз. Ці кислоти в основному окислюються до ацетату та вуглекислого газу. Також утворюються водень, та сірководень.

У процесі ацетогенезу продукти окислення не можуть бути безпосередньо перетворені в метан метаноутворюючими бактеріями, і переходять в метаногенні речовини на стадії ацетогенезу. Летючі жирні кислоти (VFA) і алкоголь окислюються в ацетат (сіль оцтової кислоти), водень та вуглекислий газ.

На стадії утворення метану метаноутворюючі бактерії розкладають основи із низькою молекулярною вагою. Вони утилізують водень, вуглекислоту і оцтову кислоту. У природних умовах, метаноутворюючі бактерії існують при наявності анаеробних умов, наприклад, під водою, в болотах. Вони дуже чутливі до змін навколишнього середовища, тому від умов, які створюються для життєдіяльності метаноутворюючих бактерій, залежить інтенсивність газовиділення.

Таким чином, процес метаногенезу здійснюється різними анаеробними мікроорганізмами — метаногенами, що ферментують вуглеводи, розщеплюють білки клітковини та амінокислотні пептиди із утворенням біогазу що містить вуглекислий газ та метан. Метаногени - найдавніший вид бактерій. Біогаз містить 50-70% метану і 30-40% вуглекислого газу, невелику кількість сірководню, водню, аміаку, оксиду азоту.

Біогаз, отриманий з біомаси з високим вмістом клітковини, містить майже однакову кількість метану та вуглекислого газу, а при утилізації біомаси, що містить азотовмісні сполуки та жири, у біогазі більше метану та менше CO_2 . Тому, він має більш високу теплотворну здатність. Об'ємну концентрацію в 70-75% метану має високоенергетичний біогаз. [7]

1.5.3 Метод прямої конверсії біомаси

Розроблено метод прямої конверсії біомаси в паливо. Метод базується на селективному каталітичному піролізі целюлози, в результаті чого утворюються ароматичні сполуки (нафталін-толуол, етилбензол, метан та ін.). Побічними продуктами реакцій є речовини з твердого вуглецю, CO , CO_2 і вода. Реакція проводиться при 600°C в цеолітному каталізаторі. Тривалість процесу складе до двох годин. Первинною реакційноздатною речовиною є очищений целюлозний порошок

Ідея механізму процесу включає кілька елементарних реакцій — розкладання целюлози з утворенням кисневмісних органічних сполук з

подальшою реакцією цих сполук усередині отворів каталізатора, де відбувається дегідрування та інші хімічні перетворення. У реакторному відсіку каталізатору проходить утворення рідкого та газоподібного палива.

Для збільшення біомаси целюлози що є вихідної сировиною методу, було змінено геном ціанобактерій, так що останні навчилися виробляти велику кількість целюлози, що може використовуватися для виробництва біопалива. Експерти припускають, що за допомогою модифікованих бактерій набагато простіше отримати поліциклічні органічні сполуки, ніж, наприклад, з кукурудзи, буряка або цукрової тростини. Оскільки целюлоза отримується з цих рослин у кристалічній формі. Важливо також те, що ціанобактерії можна вирощувати на необроблених землях і використовувати для зрошення солоної води, яку не можна використовувати для пиття або поливу рослин. Отриману біомасу доцільно використовувати у виробництві рідкого та газоподібного палива що містить метан.

1.6 Характеристика метану як об'єкту аналізу у виході біоенергетичного виробництва

Метан, що є головним енергетичним компонентом біогазу, широко поширений в екосистемі планети. Природні гази містять до 90-97 % метану за об'ємом. Газ метан є основним компонентом «рудних газів» що нагромаджуються у вугільних шахтах, під час гірничих робіт. Він виділяється внаслідок видалення вугільних пластів та супутніх порід, де може знаходитися у вільному або зв'язаному стані. Метан є основним компонент супутніх нафтових (до 90 % за об'ємом) та болотного газів (рис. 1.11).

Метан може утворювати із повітрям вибухові суміші. При концентрації метану в повітрі близько 5-6 % за об'ємом газ здатний до займання та підтримання реакції горіння (спалахує при температурі 650-750 °C). Якщо підвищити концентрацію метану у газоповітряній суміші до 15-16% - здатний до вибуху при дії високої температури або електричного розряду. При

концентрації вище 16 % за об'ємом – здатний до горіння у лише у кисневому середовищі.

Створює слабе наркотичне оп'яніння з'являється при вдиханні людиною газоповітряної суміші із вмістом метану. Гранично допустима концентрація метану в закритих приміщеннях складає 300 мг/м³ [5]

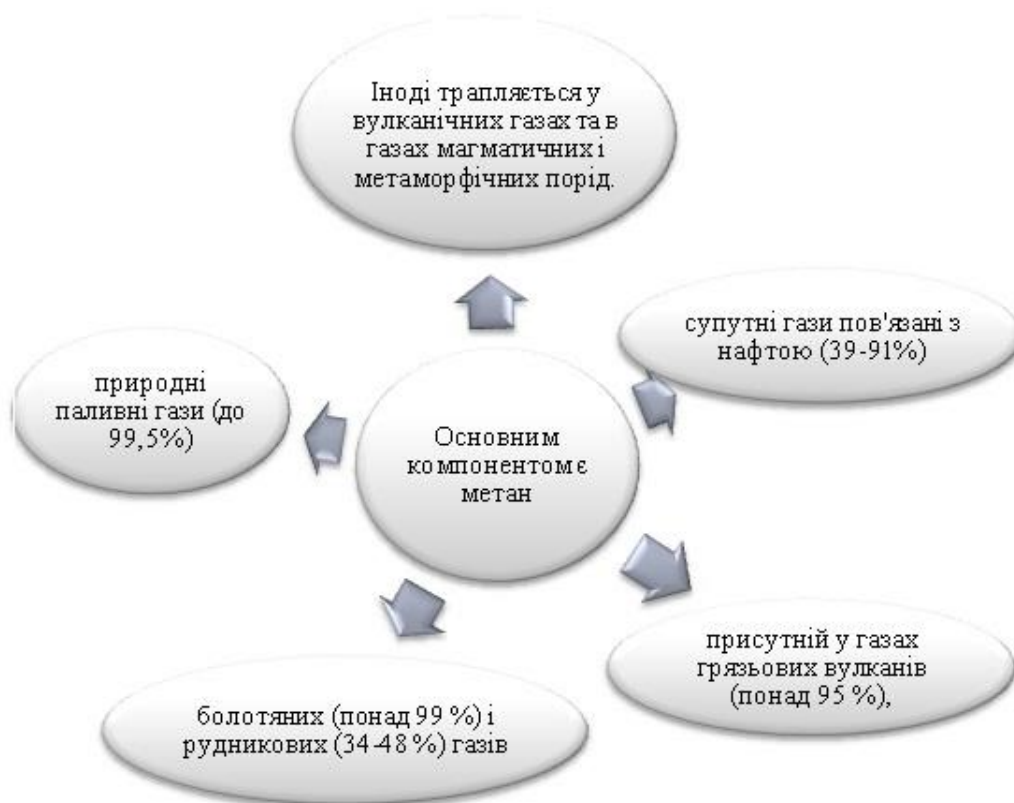


Рисунок 1.11 - Природні джерела генезису метану у біосфері

За хімічним складом є першим гомологом серії насичених вуглеводнів (метанових) виду C_nH_{2n} . Метан – хімічно неактивна речовина. У звичних умовах він доволі стійкий до дії лужних кислот та окислювачів. Таким чином, коли метан пропускається через розчин досить сильного окислювача, наприклад $KMnO_4$, він не окислюється і фіолетовий колір розчину не зникає. Метан не є активним в реакціях сполучення, оскільки всі чотири валентності вуглецю його молекули повністю насичені.

Метан, як і інші насичені вуглеводні, характеризуються реакціями заміщення, в яких атоми водню замінюються атомами інших елементів або

груп атомів. Під впливом повітря метан утворює горючу вибухонебезпечну суміш. Коли метан нагрівається вище 1000°C без проникнення повітря, він розкладається за механізмом каталітичного розкладу на складові елементи - вуглець (сажу) та водень: $\text{CH}_4 = \text{C} + 2\text{H}_2$.

Більша частина метану розчинена у океанічних, морських, озерних водах. Приблизний вміст метану у світовому океані становить близько 10^{-2} $\text{cm}^3/\text{л}$, а загалом $14 \cdot 10^{12}$ m^3 . Метан на Землі є дуже поширеним.

1.7 Обґрунтування факторів контролю якісних показників біогазу

Методи виробництва біогазу із біомаси показують, що технологічні умови (температура та контроль продукції на виході з технологічного обладнання) повинні дотримуватися під час виробництва енергії. Тому контроль енергії з біомаси повинен включати систему показників технологічного процесу які необхідно контролювати.

Переваги біогазу що містить метан, порівняно із природним газом, полягають в наступному:

1. Біогаз видобувається із біологічної сировини, тобто його виробництво і термічне окиснення є частиною природного циклу вуглецю. Застосування біогазу не призводить до накопичення вуглекислого газу в атмосфері і поширення парникового ефекту. Природний газ добувається із земної кори, і не є частиною атмосфери. При спалюванні природного газу відбувається накопичення вуглекислого газу в атмосфері планети.

2. Біогаз є відновлювальним джерелом енергії, це означає що він ніколи не вичерпається. Так як запасів природного газу і нафти при стрімкому використанні може вистачити не більше, ніж на 70-100 років, виробництво і використання біогазу є економічно обґрунтованим.

3. Сировина для біогазу знаходиться поблизу споживача і неподалік від заводів. Відпадає необхідність транспортування газу на великі відстані.

Аналізуючи методи виробництва енергії із біомаси необхідно звертати увагу на технологічні умови. В першу чергу це температура та тиск проходження процесів, кількісний та якісний контроль складу продукту що отримується виході технологічних установок (табл. 1.1).

Таблиця 1.1 - Методи виробництва біогазу та обґрунтування контролю показників виходу метану в біоенергетичному виробництві

Методи отримання енергії	Характеристика і умови	Продукти що утворюються
Газифікація (деревини)	Піроліз деревини Температура 200°C до 900°C	CH ₄ (50...70% об.); CO ₂ (30...40% об.); CO, H ₂
Виробництво біогазу із сільсько-господарських продуктів (солома зернових, стебла кукурудзи, гичка цукрових буряків, картопляне бадилля)	Ферментація мікроорганізмами метаногенами (процес метаногенезу) Температура 800°C	CH ₄ (50...70% об.); CO ₂ 30...40% об.); H ₂ , NH ₃ , NO, H ₂ S NO ₂ (0,2...0,4% об.);
Пряма конверсія біомаси (целюлози)	Селективний каталітичний піроліз на целолітному каталізаторі Температура 600°C	CO, CO ₂ і вода (H ₂ O)
Хімічна обробка рослинних олій та тваринних жирів	Біодизельно паливо Температура 200°C до 900°C	CO, CO ₂ , SO ₂ та CH ₄
Вирощування і переробка водоростей	Бродіння в спирт або метан Температура 700°C	Спирт та метан

Процес енергетичного виробництва біогазу із біомаси що містить метан повинен контролюватися засобами об'єктивного контролю, що являють собою газоаналізатори, газоаналітичні установки та газоаналітичні системи. Без відповідного приладового забезпечення, необхідного в процесі біоенергетичного виробництва, неможливо забезпечення вимоги екологічних норм у галузі біоенергетики.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 1

Розвиток відновлювальної енергетики має велике значення для формування енергетичної незалежності України. Одним із найбільш перспективним його напрямком є отримання енергії у процесі переробки біомаси. Даний процес відбувається із виходом біогазу, що містить метан, вуглекислий газ та домішкові гази у незначній кількості. Актуальним є забезпечення контролю виходу метану у процесі синтезу біогазу об'єктивними засобами контролю.

У розділі було проведено огляд альтернативних методів виробництва енергії та дано характеристику технологій метанового виробництва із біомаси. Розглянуто механізми отримання енергії із різних видів біомаси.

Зроблено характеристику метану як об'єкту аналізу у виході біоенергетичного виробництва. Обґрунтування фактори контролю якісних показників біогазу.

Таким чином потрібно проаналізувати методи та засоби контролю концентрації метану в технології виробництва біогазу.

РОЗДІЛ 2. МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ КОНТРОЛЮ КОНЦЕНТРАЦІЇ МЕТАНУ В ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА БІОГАЗУ

Методи вимірювання концентрації метану поділяють в залежності від природи впливу вимірювального засобу на досліджуваний об'єкт та способу отримання первинної вимірювальної інформації у процесі проведення вимірювань. Для знаходження концентрації метану у промисловості та лабораторній практиці застосовують засоби що ґрунтуються на електрохімічних, оптичних, акустичних, теплових, магнітних та інших методах вимірювань.

Інструментальне забезпечення оптичних методів контролю концентрації метану в газоповітряній суміші дозволяє виміряти оптичну щільність (адсорбційні методи), інтенсивність випромінювання (емісійні методи) та коефіцієнт заломлення (рефрактометрія) досліджуваної газової суміші, та визначити залежність концентрації метану в газоповітряній суміші від інформативного параметру застосованого методу. Особливістю оптико-акустичного методу є вимірювання пульсацій тиску газу при поглинанні імпульсного збуджуючого випромінювання, що пройшло через аналізований газ. Метод дозволяє визначати концентрації CO, CO₂, CH₄, NH₃, SO₂, та ряду органічних сполук.

В основі оптичних адсорбційних методів лежить вимірювання коефіцієнту селективного поглинання газоповітряної суміші в ІЧ-, УФ- або видимій частині спектру світлового випромінювання. Дану методику використовують для селективного визначення CH₄, NO₂, CO₂, формальдегіду, фосгену, SO₂, CS₂, Cl₂ та інших газоподібних сполук.. У більшості оптико-абсорбційних методів у якості джерела випромінювання застосовуються лампи розжарювання, ртутні, водневі, ртутно-кадмієві, кадмієві, ніхромові спіралі [7].

У сучасному аналітичному приладобудуванні використовується безліч методів газового аналізу. Значна їх частина заснована на фізико-хімічних

процесах взаємодії аналізованого газу з реагентом на поверхні і, як наслідок, виникнення залежного від концентрації аналітичного сигналу, придатного для подальшої обробки.

Для вимірювання концентрації метану у виході біоенергетичного виробництва використовують прилади, принцип дії яких побудований на таких основних методах:

- термокондуктометричний;
- термохімічний;
- електричний;
- фотометричний;
- оптико-абсорбційний.

Вимірювачі, що використовують подібні методи (електрохімічні, термохімічні і напівпровідникові датчики), відносно прості, недорогі і тому широко використовуються в завданнях контролю газів в промисловості.

Найбільш чисельну групу методів аналізу складають спектральні методи, що відрізняються не тільки різноманіттям, але і широким застосуванням для аналізу всіляких газоподібних і рідких речовин. Вони охоплюють велику частину спектра електромагнітних коливань.

2.1 Аналіз методів вимірювання концентрації метану і обґрунтування вибору методу

Газоаналізатори що використовують даний метод вимірювання базуються на аналізі реакції аналізованого газу зі спеціальним розчином певної речовини та вимірюють зміну провідності цього розчину, виникаючого в разі реакції.

2.1.1 Метод електропровідності

Зміна провідності розчину продовжується до встановлення хімічної рівноваги між виникаючим хімічним з'єднанням та певним газом. Стан рівноваги є функцією концентрації аналізованої газової суміші та може бути відображена вимірним засобом [13].

Аналізатор «Мікрогаз» фірми Wosthoff призначений для вимірювання концентрації газів CO_2 , SO_2 , HCl , NH_3 і H_2S , CH_4 . Схема вимірної частини аналізатора «Мікрогаз» показана на рис. 2.1. [14].

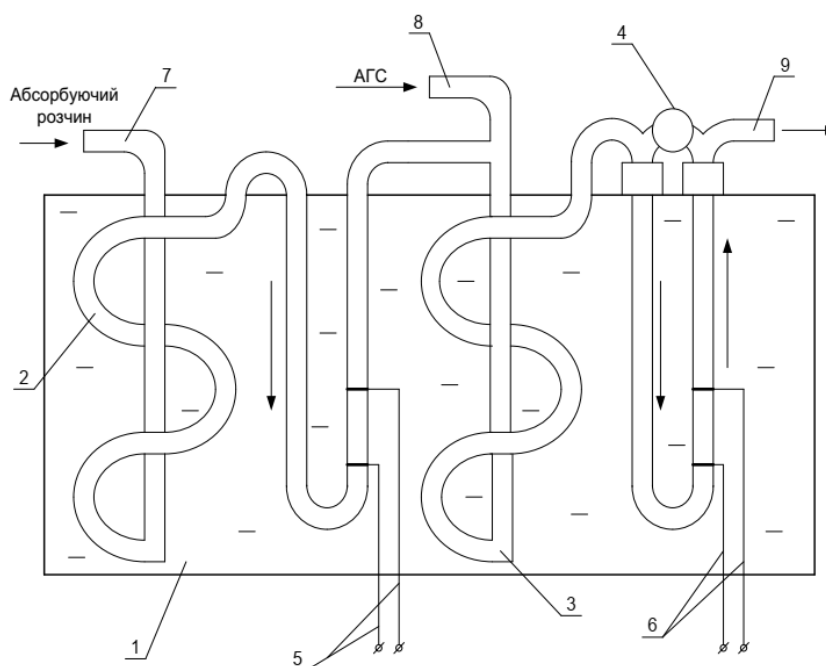


Рисунок 2.1 - Схема вимірної частини аналізатора «Мікрогаз»: 1 - термостат; 2,3 - змійовик, 4 - газовий канал, 5,6-електроди, 7 - вхід абсорбуючого розчину, 8 - вхід суміші, 9 - вихід.

Вимірювання електропровідності здійснюється за допомогою порівнювальних електродів 5 і вимірних 6 електродів, сигнал з яких потім подається, наприклад на мостову вимірну схему, де здійснюються відповідні перетворення і визначається концентрація компонента суміші. Недоліки цього методу: інертність системи; необхідне

високо стабільне джерело струму; необхідно використовувати схеми термостабілізації, термокомпенсації.

2.1.2 Електричний метод вимірювання концентрації метану

Принцип дії цього методу заснований на вимірюванні електричної характеристики безпосередньо самого газу або рідини, з якою прореагував газ. При цьому обирається електричний параметр, який одночасно залежить від концентрації аналізованого компоненту.

Аналізаторами на основі цього методу є іонізаційні та електричні. Іонізація газу є результатом дії на газ електричних та магнітних полів або потоків. Суть іонізації полягає в виділенні електрона (відриві) із зовнішньої оболонки атома або молекули, в результаті чого в газі виникають іони та електрони, які далі рекомбінують. Принципова схема будови іонізаційного газоаналізатора зображено на рис.2.2. [19].

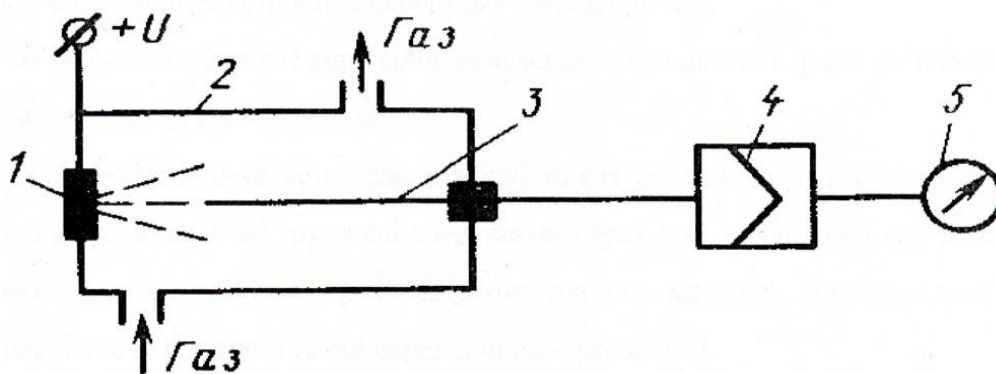


Рисунок 2.2 - Схема комбінована структурна іонізаційного газоаналізатора: 1 - бета випромінювач; 2 - іонізаційна проточна камера; 3 - колектор; 4 - підсилювач; 5 - вимірювальний пристрій.

В камері газова суміш іонізується β -випромінюванням. Під дією прикладеної різниці потенціалів, іони поступають на колектор, в результаті на ньому виникає струм, вимірюваний після підсилення.

Поперечний переріз іонізації атомів, а, відповідно, і іонізаційний струм збільшується зі збільшенням кількості валентних електронів, але не завжди пропорційно йому. Недоліками приладів цього методу є постійна повірка. 4.

2.1.3 Іонометричний метод вимірювання

Іонометричний метод вимірювання концентрації метану заснований на залежності концентрації іонів у розчині, вираженої рівнянням Нернста [11].

$$E = E^0 + \frac{RT}{nF} \ln \frac{a_{ox}}{a_{red}} \quad (2.1)$$

де E – електродний потенціал,

E^0 – стандартний електродний потенціал, вимірюється у вольтах;

R – універсальна газова стала, рівна 8.31 Дж / (моль-К);

T – абсолютна температура;

F – постійна Фарадея, рівна 96485,35 Кл·моль⁻¹;

n – число моль електронів, що беруть участь в процесі;

a_{ox} і a_{red} – активності відповідно окисленої і відновленої форм речовини, що бере участь в напівреакції.

Іонометричний метод дає можливість визначити концентрацію хімічно активних газів. Деякі труднощі представляє перехід від активного іона, що не може бути визначеним термокондуктометричним методом, до концентрації іона (однак практично такий перехід цілком реальний).

Обмеження полягає в здатності газу утворити в розчині іони, а також у можливості створення електродів для їхнього визначення.

2.1.4 Метод газової хроматографії у визначенні відносних концентрацій метану

Цей метод заснований на різниці в часі утримання різних речовин на сорбентах під час проходження зразка газу через хроматографічну колонку.

Відмінною особливістю газо-хроматографічних методів аналізу є наявність етапу поділу, що передує детектуванню визначених компонентів проби. Проба переміщається в потоці газу-носія уздовж шару сорбенту, що заповнює хроматографічну колонку. За рахунок відмінностей адсорбційної активності сорбенту по відношенню до різних компонентів газової суміші відбувається поділ проби. В якості газу-носія використовуються: азот, аргон, гелій, водень.

На рисунку 2.3 зображена принципова схема хроматографа. Він представляє собою сукупність декількох вузлів. Стабілізація та очистка газового потоку проходить в системі підготовки газів, яка складається з балону, в якому знаходиться газ-носії (1) і блоку підготовки газів (2). Блок підготовки газів складається з: дроселю, регулятора тиску, регулятора потоку. Дозування та введення проби проводиться за допомогою мікрошприца, або дозуючої петлі (3). Проби вводяться через резинову мембрану в випаровувач (4) – спеціальне пристосування для випаровування проби. Потім потоком газу-носія проба переноситься в колонку (5), яка розміщена в термостат (6). Для більш точного дозування чи вводу нестандартних проб можна використовувати нестандартні дозуючі пристрої.

Система детектування складається з детектора (7) з блоком живлення (8), підсилювача сигналу детектора (9) та реєструючого пристрою (10). В систему детектування може бути ввімкнений електронний інтегратор, який вимірює параметри хроматографічних піків.

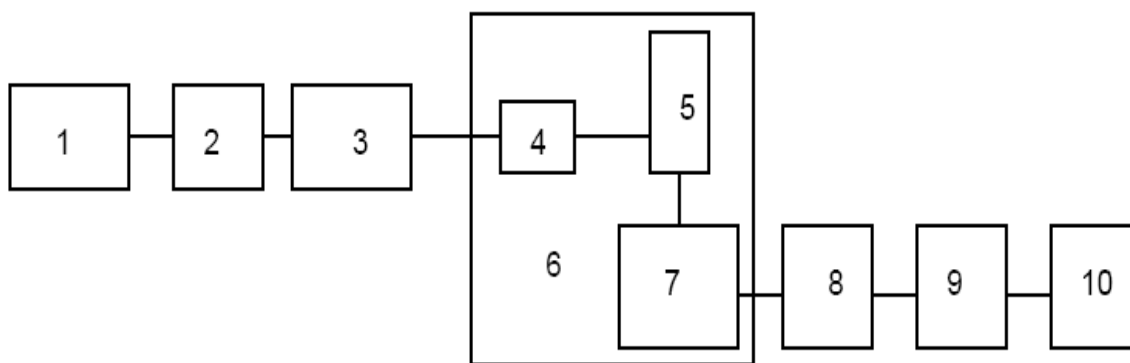


Рисунок 2.3 - Принципова схема газового хроматографа: 1 – аналізований газ, 2 – блок підготовки газів, 3 – дозуюча петля, 4 – випаровувач, 5 – колонка, 6 – термостат, 7 – детектор, 8 – блок живлення, 9 – підсилювач сигналу детектора, 10 – реєструючий пристрій.

Сорбенти: активоване вугілля (ОКТ-2, АГ), силікагелі (КСК, КСМ, КСМ4 або КСМ5), синтетичні цеоліти (NaA, CaA, NaX, CaX), сілохроми, пористі полімери (паропак Т, Q, Р), полісорб, хромосіли та ін.

Детектори: з вимірювання теплопровідності (катарометра); з вимірювання щільності (густиноміри); іонізаційні (електронного захвату, гелієвий, аргонівий); мас-спектрометр.

При визначенні мікродомішок використовуються різні прийоми концентрування або спеціальні накопичувальні пристрої (пастки). Як накопичувальні пастки застосовуються трубки, заповнені різними сорбентами і охолоджені аж до кріогенних температур. При визначенні сильносорбованих домішок застосовуються різні варіанти термічних методів концентрування (програмування температури розділової колонки в часі, теплодинамічний режим нагріву колонки, коли її температура змінюється не тільки в часі, а й по довжині за рахунок переміщення вздовж колонки спеціальної нагрівальної трубчастої печі). При визначенні слабосорбованих домішок в сильносорбованих газах застосовують метод фронтально-адсорбційного концентрування, коли в відкачаний хроматографічної колонці

на передньому фронті хроматографічної зони концентруються слабопоглинаємі сорбентом домішки, які на виході розділової колонки відбираються і направляються в іншу, де аналізуються звичайним методом з додатковим газом-носієм.

Газохроматографічний метод дозволяє аналізувати складні газові суміші і визначати мікродомішки He, Ne, Ar, Xe, Kr, H₂, N₂, O₂, CO, CO₂, N₂O на рівні 10⁻³...10⁻⁴ мол. %, Застосовується метод і для визначення органічних сполук виду C_nH_{2n} в повітрі, технологічних та природних газах з межею визначення до 10⁻³...10⁻⁴ мол. %.

Методологія вимагає використання високоефективних аналітичних колонок. Промислові хроматографи не придатні для швидкого автоматичного контролю вуглеводнів виду C_nH_{2n} через велику тривалість аналізу, складність ідентифікації, труднощі у видаленні отриманих результатів вимірювань, перетворення та передачі їх значень для подальшого використання.

Хроматографічний аналіз використовує прямий метод визначення, заснований на використанні високочутливих детекторів, при якому речовини, що аналізуються після накопичення, відокремлюються та вимірюються. Структурна схема портативного газового хроматографа показана на рис .2.4

Усередині металевої чашки є гумовий сильфон із пружиною що забезпечує утримання його в розтянутому стані. Розпірні кільця вбудовані у внутрішній гофраговий сильфон, щоб надати йому жорсткості та підтримувати постійний об'єм. Пружина - 3 встановлена на нижньому фланці на різьбі. Перехідник (6), знаходиться на верхньому фланці (5) сильфона, який обтянутий гумовою трубкою (7) для з'єднання хроматографічної колонки (8). У центрі фланця (5) є втулка (9) для спрямування штока (10) під час роботи сильфона.

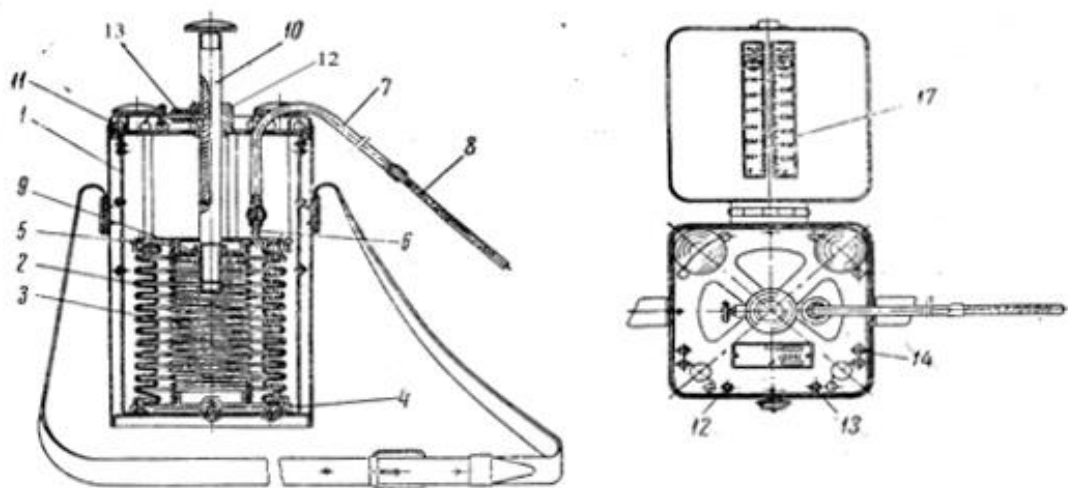


Рисунок 2.4 - Структурна схема газового хроматографа: 1- стакан із металу, 2 – сифон із гуми, 3- сталева металева пружина із високим коефіцієнтом розширення, 4 – фланець верхньої частини стакану, 5 – фланець нижньої частини стакану, 6 – перехідний роз'єм, 7 – трубка із гуми, 8 – колонка для проведення хроматографії, 9 – фіксаційни втулка, 10 – тримач, 11 – управляюча плата, 12 – направляючий механізм, 13 – кріпільна втулка, 14 – фіксуючі болти.

Під час проходження аналізованої газової суміші через хроматографічну колонку відбувається по чергове осідання компонентів газової суміші на сорбентах, в результаті чого формується сигнал вимірювальної інформації що відповідає об'ємній концентрації газу у газовій суміші що пропущена через колонку.

2.1.5 Огляд термокондуктометричного методу вимірювання концентрації CH_4

Термокондуктометричні газоаналізатори засновані на принципах виміру теплопровідностей речовини. Здебільшого двокомпонентних сумішей, такі як метан та вуглекислий газ, де теплопровідність є унікальною функцією їх складу(табл. 2.1).

Таблиця 2.1 - Абсолютні та відносні відомості теплопровідності вибраних газів

Досліджувана речовина	Теплопровідність газу при 0° С $\lambda \cdot 10^{-7}$ кал·см ⁻¹ ·град ⁻¹	λ відн. при 0°С	λ відн. при 100°С
метан CH ₄	721	0,657	1,45
вуглекислий газ CO ₂	348	0,603	1,028
оксид вуглецю CO	555	0,962	0,704

Судячи зі значень теплопровідності газів, очевидно, що зручно застосовувати принципи теплопровідності для аналізу деяких газових сумішей у разі значної різниці між ними, наприклад суміш метану та вуглекислого газу на виході біоенергетичного виробництва.

Термокондуктометричні газоаналізатори не мають високу вибірковість і використовуються, якщо контрольований компонент по теплопровідності істотно відрізняється від інших, наприклад для визначення концентрацій H₂, He, Ar, CH₄ у газових сумішах, що містять N₂, O₂ і інші. Діапазон виміру - від одиниць до десятків відсотків по обсязі.

Зміна складу газової суміші призводить до зміни її теплопровідності і, як наслідок, температури й електричного опору нагріву струмом металевого або напівпровідникового терморезистора, розміщеного в камері, через котру пропускається суміш. При цьому:

$$\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} = \frac{\alpha}{\alpha} \cdot I^2 \cdot \left(\frac{1}{\lambda_1} - \frac{1}{\lambda_2} \right) \quad (2.2)$$

де α – конструктивний параметр камери;

R_1 і R_2 – опір терморезистора;

I – струм, який проходить через терморезистор;

λ_1 і λ_2 – теплопровідність газового середовища;

α – температурний коефіцієнт електричного опору терморезистора.

Структурна схема термокондуктометричного комбінованого газоаналізатору наведена на рис. 2.5.

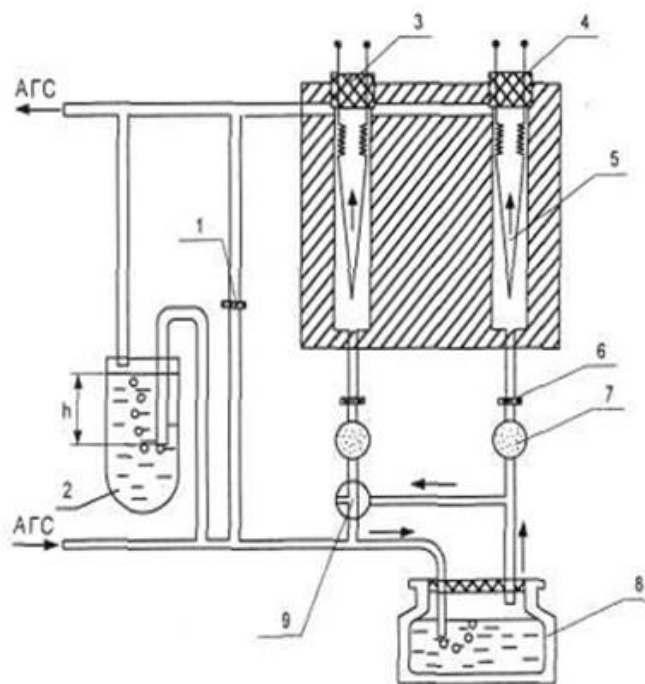


Рисунок 2.5 - Схема комбінованого диференційованого ТКГ

Розглянемо конструкцію термокондуктометричного газового тестера, який використовує спеціальну всмоктувальну рідину (рис. 2.5), в якій концентрація випробовуваного компонента зведена до нуля.

Газова суміш, що підлягає аналізу, подається під надмірним тиском, що регулюється моностабом - 2; Більшість (90%) суміші має вихід по обвідній діафрагмі - 1, а решта надходить у посудину абсорбційної суміші - 8. Триходовий клапан - 9 служить для установки газоаналізатора під час перевірки нуля, для чого вхід заблокованої газової суміші, що підлягає аналізу, перекритий, тобто по положенню встановленого триходового клапану суміш, яка пройшла через контейнер з поглинальною сумішшю, вводиться в вимірювальні та еталонні комірки - 3,4.

Напруга мостової схеми повинна бути нульовою. Під час роботи триходовий клапан встановлюється таким чином, що аналізована газова суміш проходить через обмежувальну мембрану і контрольний фільтр і вводиться в вимірювальну кювету, а суміш, в якій поглинається

вимірювальний компонент, вводиться в еталонну кювету. Концентрація аналізованого компонента залежить від вихідної напруги вимірювального моста і розраховується за формулами.

2.1.6 Термохімічний метод вимірювання

Термохімічний метод вимірювання концентрації заснований на вимірюванні зміни температури середовища, що відбувається в результаті хімічної реакції.

Розглянемо термо-сорбційний термохімічний газоаналізатор (ТХГ). Їх використовують для аналізу газів і рідин, в яких проходять процеси хемосорбції з виділенням тепла.

Цей метод ефективно працює при вимірюванні NO_2 , CO_2 , Cl , CH_4 . Прилади, які застосовуються в цьому методі аналізу характеризуються високою чутливістю, простотою і надійністю в роботі (рис.2.6) [15]:

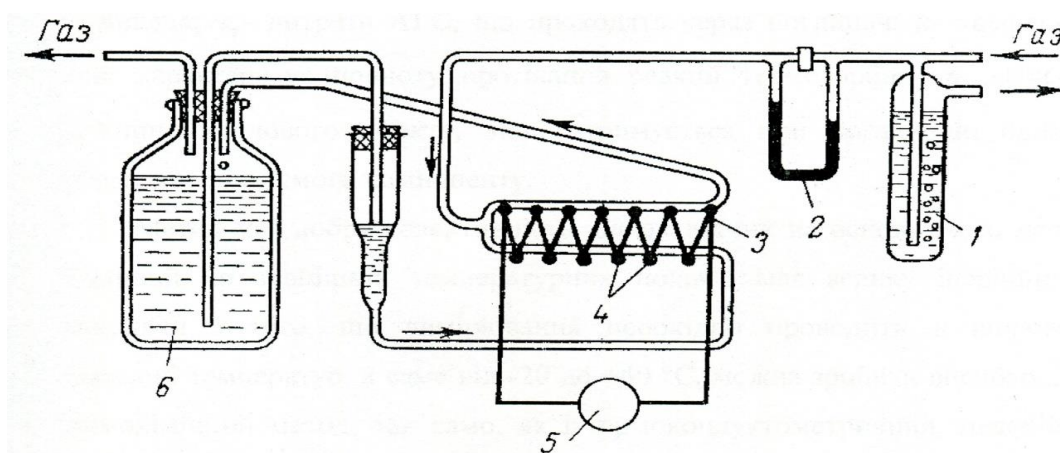


Рисунок 2.6 - Схема комбінована структурна термосорбційного газоаналізатору: де: 1 - моностат, 2 - реометр, 3 - поглинач, 4 - батарея термопар, 5 - ВВП, 6 - посудина з рідиною, 7 - дозатор.

Принцип дії: АГС подається на вхід з фіксованим значенням витрат, яке підтримується за допомогою моностату 1 реометра 2, далі АГС вводиться в

верхнє коліно поглинача 3, де вона вступає в контакт з рідиною. Ця рідина абсорбує досліджує мий компонент з АГС, для підтримування постійного складу і відтворення температури, рідина робить певний коловий обіг і попадає в посудину 6. Потім із посудини 6 нова порція рідини проходить через дозатор 7 і свіжа порція рідини іде далі в поглинач 3.

Тепло, яке утворюється при цьому нагріває чутливі елементи у вигляді батареї термопар, при чому, температура верхнього шару буде вищою, ніж температура нижнього шару рідини, ця різниця температур фіксується ВВП під номером 5.

Концентрація компоненту; що визначається пропорційна різниці температур між верхнім і нижнім чутливим елементом:

$$C = \frac{G \cdot \rho \cdot C_n \cdot (t_a \cdot t_n)}{v_r \cdot k \cdot g} \quad (2.3)$$

де G - втрати поглинача;

ρ - густина поглинача;

C_n – теплоємність поглинача;

v_r – витрати АГС, що проходять через поглинач;

k – коефіцієнт, який характеризує повноту протікання реакції термосорбції;

g – визначає величину теплового ефекту, який стримується при поглинанні одиниці об'єму досліджуємого компоненту [16].

Метод має добру селективність, однак датчик на основі цього методу чутливий до зовнішніх температурних полів і має велику інерційність. Виходячи з того, що вимірювання необхідно проводити в широкому діапазоні температур, а саме від -20 до +40 °С, можна зробити висновок, що термохімічний метод, так само, як і термокондуктометричний, недоцільно використовувати для вирішення поставленої задачі.

2.1.7 Напівпровідниковий адсорбційний метод

Адсорбція являє собою явище поверхневого поглинання. При цьому молекули газу або розчинної речовини (адсорбат) концентруються на поверхні рідини або твердого тіла (адсорбенту) на межі розділу адсорбенту з газовою фазою.

Явище адсорбції обумовлено міжмолекулярною взаємодією на межі фаз і сили міжмолекулярної взаємодії там не скомпенсовані, тобто поверхневий шар має надмірну вільну поверхневу енергію. За рахунок цієї енергії молекули притягується поверхнею розподілу фаз між адсорбентом і досліджуваної речовиною. При цьому вільна енергія зменшується, отже процес енергетично вигідний. В залежності характеру взаємодії молекул адсорбата і адсорбенту існує 2 види адсорбції: фізична і хемосорбція [12].

Фізична адсорбція характеризується силами взаємодії між молекулами і не утворює зміни в електронній структурі молекул адсорбату. Фізична адсорбція може бути моношаровою і багатошаровою. При проведенні процесу фізичної адсорбції можуть виникати подвійні електричні шари, якщо здійснюється адсорбція електролітів з їх розчинів. Якщо адсорбент є пористою структурою, то газова фаза буде змочувати адсорбент. В результаті випаровування в капілярах буде відбуватися капілярна конденсація.

Під час хемосорбції між молекулами адсорбента та адсорбованої речовини з'являється хімічний зв'язок. Процес хемосорбції можна розглядати як хімічну реакцію. Але область протікання такої реакції обмежується поверхневим шаром.

В деяких випадках на одній і тій же поверхні речовини може відбуватися фізична та хемосорбція. Як і в хімічних реакціях, при проходженні процесів результат хемосорбції буде спостерігатись в тому, що адсорбент буде хемосорбувати не на будь-яких молекулах, а лише на вибраних. Дані молекули адсорбенту вступають в хімічну реакцію з атомами

і молекулами, що знаходяться на поверхні адсорбата із врахуванням ефекту підвищеної селективності.

Хемосорбція інтенсифікується зі збільшенням температури. Процес адсорбції супроводжується виділенням тепла. Тепло, що виділяється, має порядок як і теплота конденсації: $i = (1-5 \text{ ккал/моль})$.

Теплота хемосорбції по величині має порядок як і теплота, що виникає при хімічній реакції (10-100 ккал/моль). Кількісно величину адсорбції (Γ) можна описати рівнянням Гіббса [22]:

$$\Gamma = \frac{\partial \delta}{\partial \mu} \quad (2.4)$$

де, δ – значення коефіцієнту поверхневого натягу;

μ – хімічний потенціал аналізованого компонента що утворюється при рівновазі фаз;

При явищі поглинання компонента із середовища з невеликою його концентрацією рівняння Гіббса можна переписати:

$$\Gamma = \frac{C}{RT} \cdot \frac{\partial \delta}{\partial c} \quad (2.5)$$

де, c – концентрація газу;

R – постійна газова стала, $R = 8,314 \text{ Дж/(моль} \cdot \text{К)}$;

T – температура газу, К.

При розміщенні напівпровідникового елементу у газове середовище поверхня напівпровідника буде адсорбувати молекули вибраних компонентів аналізованої газової суміші. Процес адсорбції носить ізотермічний і оборотний характер, тобто через деякі проміжки часу після взаємодії напівпровідникового чутливого елементу з аналізованою сумішшю встановлюється рівність процесів по швидкості як адсорбції так і десорбції.

Величини швидкості адсорбції і десорбції $V_{\text{адс.}} = V_{\text{деадс.}}$ можна знайти із співвідношень [22, 23]:

$$V_{\text{адс.}} = k_1 c (\Gamma_{\text{max}} - \Gamma_{\text{min}}) p \cdot f(T) \quad (2.6)$$

$$V_{\text{дес.}} = k_2 \Gamma \quad (2.7)$$

де, Γ_{max} – максимальне значення адсорбції при якому поверхня напівпровідника повністю прореагувала із заміною із поверхнево активними молекулами аналізованої речовини;

Γ_{max} – мінімальне значення адсорбції;

Γ – фактичне значення адсорбції;

k_1, k_2 – коефіцієнти адсорбційної і десорбційної рівноваги;

c – рівноважна концентрація адсорбуємої величини;

$f(T)$ – функція від температури;

p – тиск, який утворюється молекулами аналізуємої газової суміші;

Процеси адсорбції молекул поверхнево-активної речовини на поверхні напівпровідникових металів призводить до зміни електричного опору напівпровідникового чутливого елементу.

Аналізована газова суміш проходить через молекулярне сито 6 (рис.2.7), де здійснюється фільтрація деяких компонентів адсорбується на поверхні плівки чутливого елемента 2. В результаті чого змінюється поверхнева провідність шару напівпровідникового чутливого елементу та опір. Зміна опору напруги за допомогою мостової вимірювальної схеми фіксується і таким чином напруга з вимірювальної мостової схеми буде функцією концентрації одного з компонентів аналізуємої газової суміші. За допомогою нагрівача 4 встановлюється температура чутливого елементу в діапазоні від 50 до 500°C, що дозволяє підняти чутливість і селективність вимірювань [9].

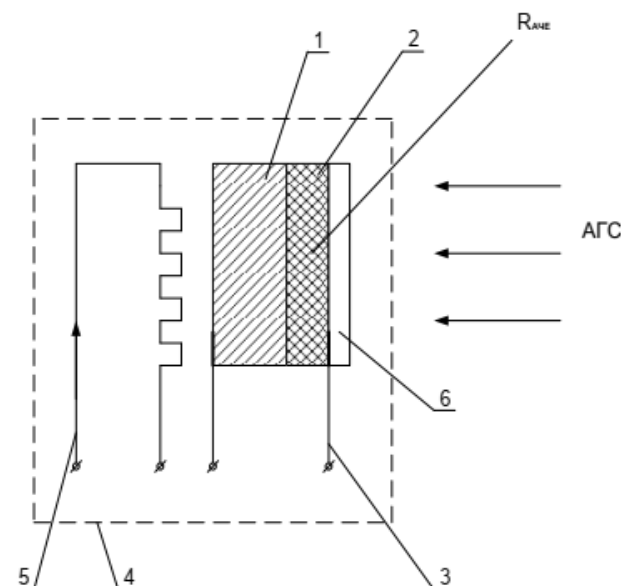


Рисунок 2.7 - Напівпровідниковий адсорбційний чутливий елемент: 1 - підкладка, 2 - чутливий шар, 3 - контакти електродів, 4 - підігрівач, 5 - корпус НПЧЕ, 6 - молекулярне сито.

Зміна провідності в напівпровідникових чутливих елементах обумовлюється відповідною зміною концентрації електронів в зоні провідності або дірок у валентній зоні напівпровідників. Завдяки зміні провідності напівпровідникові чутливі елементи є здатними реагувати селективно на відповідні компоненти аналізованої газової суміші, що і дозволяє використати їх, як елементи чутливі до розподілу фаз аналізованої суміші та адсорбату.

Переваги даного схемного рішення:

- висока чутливість; висока швидкодія;
- малі габаритні розміри; простота конструкції; економічність;
- незалежність від вібрації та просторового положення чутливого елемента;
- процес перетворення вхідної величини концентрації компонентів газу здійснюється безпосередньо в електричний сигнал.

2.1.8 Оптично-акустичний метод контролю концентрації метану

Оптико-акустичні газоаналізатори відповідно до прийнятої класифікації слід визначати як оптичні. Вони засновані на вимірюванні ступеня поглинання газу після опромінення потоком інфрачервоного випромінювання.

Випромінювання інфрачервоної області спектру поглинається газами, молекули мають у складі два або більше різних атомів та іонів. У тепловій енергетиці їх використовують для вимірювань концентрацій CO_2 ; CO ; CH_4 .

Оптико-акустичний ефект виникає при переривчастому потоці інфрачервоного випромінювання що діє на газ в замкнутому об'ємі та являє собою пульсацію температури і, відповідно тиску, в цьому в газі. На рисунку 2.8 показана принципова схема оптико-акустичного газоаналізатора метану.

Інфрачервоне випромінювання від двох джерел 1 направляється через два канали (робочий і порівняльний), проходячи через затвор 2, який тимчасово зупиняє обидва потоки шість разів на секунду. Перерваний потік випромінювання, що проходить через фільтрувальні камери 3, заповнюється газовою сумішшю, з якої виключається аналізований компонент. Наявність фільтраційних камер зменшує похибку через можливе часткове перекриття спектрів поглинання аналізованих та неаналізованих компонентів газової суміші. Потім потік випромінювання, спрямований через робочий канал, проходить через робочу камеру - 4, через яку аналізована газова суміш проходить безперервно.

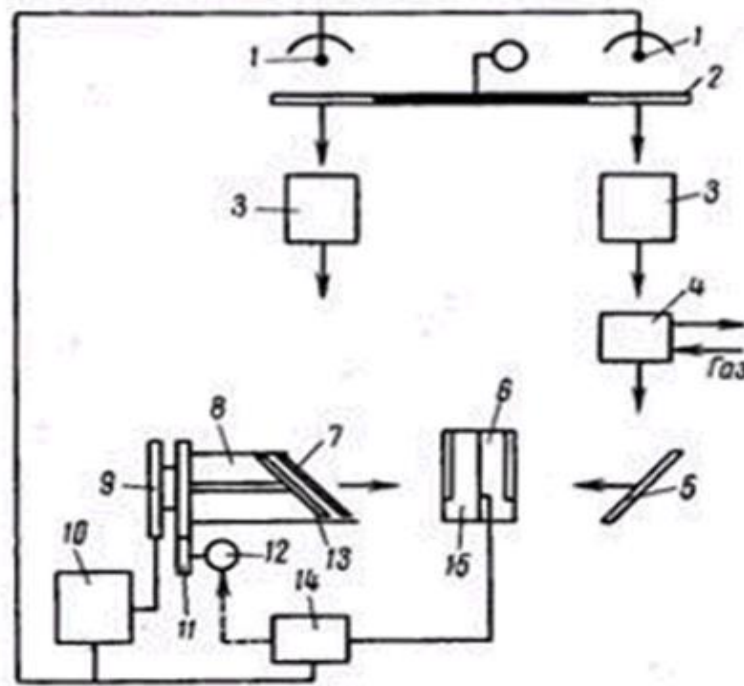


Рисунок 2.8 - Схема оптико-акустичного газоаналізатора метану: 1 – джерела газу, 2 – затвор, 3 – фільтрувальні камери, 4 – робоча камера. 5 – відбиваюча пластина, 6 – фотодетектор, 7 – скляні вікна, 9 – обертач, 10 – вторинний перетворювач, 11 – редуктор, 12 – реверсивний двигу, 13 – відображаюче дзеркало, 14 – попередній підсилювач, 15 – конденсаторний мікрофон.

Аналізований багатокомпонентний газ поглинає частину енергії випромінювання. Решта випроміненої енергії після відбиття від пластини - 5 потрапляє в область - 6 приймача випромінювання.

Потік випромінювання, що проходить через еталонний канал, після фільтраційної камери - 3 надходить у компенсаційну камеру - 8. Камера компенсації заповнюється аналізованим компонентом суміші. Поверхня цієї камери має спеціальні скляні вікна (LiF) - 7, через яке вільно проникають інфрачервоні промені. Усередині компенсаційної камери є дзеркало, що відбиває, яке спрямовує потік випромінювання на ліву область фотодетектора 6. Якщо права і ліва області приймального променя отримують переривчасті потоки випромінювання, конденсаторний мікрофон - 15, розташований у промені приймача, генерує звуковий сигнал, який після

посилення підсилювачем - 14 діє на реверсивний двигун - 12. Реверсивний двигун за допомогою редуктора - 11 переміщує дзеркало, що відображає - 13, поки потік не надходить у порівняльний канал каналу. Якщо ці потоки однакові, мікрофон перестає звучати.

Рух дзеркала, що відбиває всередині вирівнювальної камери, спричинює зміну її об'єму, тобто зміну траєкторії руху газу, що призводить до зміни поглинання енергії випромінювання. Водночас з коробкою передач рухається двигун 9 вторинного перетворювача 10.

Дані газові детектори можуть контролювати концентрацію метану в діапазоні від 0 до 100% по об'єму з основною похибкою від $\pm 2,5$ до $\pm 5\%$ верхньої межі вимірювання.

2.1.9 Оптично-адсорбційний метод контролю концентрацій вуглеводнів

Найчисленнішою групою аналітичних методів є спектральні методи, які відрізняються не лише різноманітністю, але й широким використанням різних газоподібних та рідких речовин, що підлягають аналізу. Вони охоплюють більшу частину спектру електромагнітних коливань.

Основна підгрупа стосується оптичних методів для радіаційного аналізу в ультрафіолетовій, видимій та інфрачервоній областях спектру. Вони засновані на залежності оптичної щільності, показника заломлення, відбивної здатності та інших оптичних властивостей аналіту від концентрації кондиціонованого компонента.

Найпоширенішим є метод оптичного поглинання. Він складається з вимірювання амплітуди загасання інтенсивності електромагнітного випромінювання та амплітуди поглинання його потоку компонентом під випромінюванням, що проходить через аналізований газ або рідку суміш, що поглинає цей газофазний компонент. Для методу поглинання використовується повний спектр електромагнітних коливань.

Сутність методу полягає: досліджуваний газ вводять у вимірювальну кювету. Кювета виконана так, що на одному кінці знаходиться інфрачервоний випромінювач, а на іншому - приймач випромінювання. Завдяки своїм фізичним властивостям досліджуваний газ поглинає певну кількість інфрачервоного випромінювання. Таким чином, різницю між переданим та прийнятим сигналом можна використовувати для розрахунку концентрації випробовуваного компонента (рис 2.9).

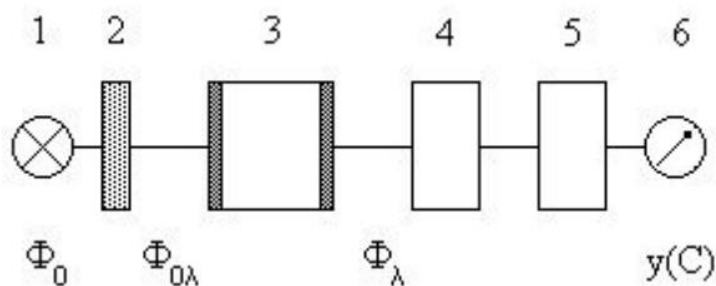


Рисунок 2.9 - Структурна схем оптико-адсорбційного газоаналізатору: 1 – джерело, 2 – оптичний фільтр, 3 – кювета, 4 – фотоприймач, 5 – попередній підсилювач, 6 – вимірювальний прилад.

Серед найбільш чутливих та селективних методів газового аналізу є метод аналізу поглинання в інфрачервоній області спектра, заснований на селективному поглинанні безперервного спектру інфрачервоного випромінювання аналізованим компонентом газові суміші.

Поглинання інфрачервоного випромінювання пов'язане з молекулярною структурою речовини і залежить від її структури, типу та хімічних зв'язків енергії у молекулі. Наявність різних за інтенсивністю поглинальних смуг, дозволяє вибрати правильні умови та розробити пристрій з високою селективністю. Здатність поглинати інфрачервоне випромінювання мають гази, молекули яких складаються щонайменше з двох іонів з однаковими елементами (CO , CO_2 , CH_4 , SO_2 , NO , NO_2).

Використання інфрачервоних газоаналізаторів для визначення газоподібних речовин дозволяє визначити концентрації двоатомних газів,

найважливішими з яких є оксид вуглецю (CO), вуглекислий газ (CO₂), вуглеводні та метан (CH₄). Інфрачервоний метод широко застосовується при виявленні різних речовин і, насамперед, низьких та високих концентрацій органічних сполук у газових сумішах. Даний метод аналізу відповідає основному закону поглинання електромагнітного випромінювання - закону Бугера-Ламберта-Бера:

$$\Phi = \Phi_0 e^{-z_{\lambda} c l} = \Phi_0 e^{-D} \quad (2.8)$$

де Φ_0 – інтенсивність світлового потоку;

Φ – інтенсивність світлового потоку після проходження шару речовини;

z_{λ} – коефіцієнт поглинання;

C – концентрація;

l – товщина шару;

D – оптична густина речовини.

В аналітичні можливості ІЧ спектроскопії можна включити велику кількість речовини, спектр яких має хоча б одну смугу поглинання ІЧ випромінювання.

Враховуючи можливості ІЧ техніки, основним діапазоном аналізу складу речовин рахують область ІЧ спектра до 15 мкм. Тому розбивши цей діапазон на три піддіапазони: до 5 мкм, 5-10 мкм; 10-15 мкм, можна класифікувати аналізовані речовини, у залежності від розміру поглинання ІЧ енергії, узявши за основу три групи по величині поглинання: I – 70-100 %; II – 40-70%; III – до 40 %. В таблицях 1.3 – 1.6 представлена класифікація речовин. Основою задачею ІЧ методу є найбільш повне забезпечення аналізу складу речовин I групи з максимальною точністю та хоча б часткове груп II та III, для речовин, що не ввійшли у групу I.

Отже, поділивши цей діапазон на три піддіапазони можна класифікувати проаналізовані речовини залежно від величини поглинання енергії ІЧ, беручи за основу три групи розміру поглинання: Et - 70-100%; II - від 40 до 70%; III - до 40.

Основним завданням методу ІЧ є аналіз складу речовин групи І якомога ретельніше, з максимальною точністю і принаймні частково для речовин групи ІІ та ІІІ, які не входять до групи І.

Аналіз вищезазначених даних показує, що в деяких випадках, особливо в діапазоні до 5 мкм та від 5 до 10 мкм, зони поглинання (або дуже близько до місця розташування) ІЧ-енергії перекриваються різними речовинами (наприклад: оксидом вуглецю та оксидом азоту та ін.), який, однак, майже не помітний у більшому діапазоні довжин хвиль.

Однак в даний час всі ІЧ-аналізатори працюють переважно в близькій і частково в середній частині ІЧ-спектру. Використання частини довжин хвиль спектру обмежується відсутністю надійних джерел випромінювання, дешевих та широкодоступних оптичних матеріалів, тощо. Все це знижує надійність аналізаторів під час роботи, а в деяких випадках повністю виключає їх використання.

Тому одним із основних завдань ІЧ-аналізу є розробка спеціальних ІЧ-фільтрів випромінювання, які могли б виділити вузькі області спектру, властиві лише певній газовій складовій, і мати мінімальний коефіцієнт поглинання ІЧ-випромінювання. З високою потужністю випромінювання та високочутливими приймачами випромінювання до 20 мкм.

2.2 Вибір методу вимірювання концентрації метану у виході біоенергетичного виробництва

Метод вимірювання - метод або сукупність методів порівняння виміряної фізичної величини з її одиницею відповідно до застосовуваного принципу вимірювання. Він, як правило, обумовлений конструкцією вимірювальних приладів.

Розглянувши можливі схемні рішення та дослідивши фізичні методи вимірювань, можна зробити висновок, що найбільш перспективним

рішенням контролю виходу метану в біоенергетичному виробництві є застосування саме оптико-адсорбційного методу в ІЧ-області спектру.

Хроматографічний метод аналізу досить простий у використанні і не вимагає великих витрат. Його переваги відрізняються простотою конструкції, можливістю використання однієї колонки для визначення вмісту різних компонентів в аналізованій газовій суміші. Недоліком цього методу є те, що визначення займає відносно багато часу. Хроматографічну колонку можна використовувати лише один раз, що ускладнює процес підготовки хроматографічного аналізатора до роботи.

Оптико-акустичний метод є більш точним, ніж хроматографічний. Селективність методу заснована на поглинанні випромінювання різними речовинами з різною довжиною хвилі. Недоліком оптико-акустичного методу є те, що він має досить складну структуру, що погіршує його експлуатаційні характеристики. Складність конструкції також пов'язана з необхідністю використання лазерів як джерел випромінювання, що збільшує вартість аналізатора.

Перевагами оптично-абсорбційного методу порівняно з іншими, є:

- 1) висока швидкість проведення вимірювань (в режимі реального часу);
- 2) висока вибірковість;
- 3) здатність автоматизувати процес вимірювання;
- 4) широкий діапазон вимірювань концентрацій двоокису вуглецю та метану, як основних компонентів біогазу;
- 5) вимірювання високої точності у заданому діапазоні вимірювань концентрації метану (0-100% по об'єму).

ІЧ оптико-адсорбційний метод визначення метану дозволяє вирішити багато проблем у різних галузях промисловості: хімічній, металургійній, нафтовій де присутня проблема контролю його концентрації в технологічних процесах. Простота конструкції не заважає досить точним вимірюванням, оскільки чутливість цього методу дуже висока. Оптичні детектори поглинання особливо чутливі до молекул CO_2 та вуглеводнів, що свідчить

про актуальність цього методу для визначення концентрації метану у виході біоенергетичного виробництва.

2.3 Аналіз схемних рішень сучасних вимірювальних засобів придатних для контролю концентрації метану

Оскільки газоаналізатор є основною частиною розробленої системи контролю виходу метану в біоенергетичному виробництві, вибір структурної схеми газоаналізатора є дуже важливим. Тому розглянемо структурні схеми та аналоги інфрачервоних газоаналізаторів для вибору придатного конструктивного рішення.

За останні десятиріччя, метод газового аналізу, що ґрунтується на вибіркового поглинанні енергії випромінювання аналізованим компонентом складної суміші, отримав найбільш широке застосування. За даними фірм – розробників аналітичних приладів США, Японії та Німеччини, близько 40% аналітичних приладів, що використовуються у промисловості і лабораторній практиці для визначення концентрації речовини, засновані на оптико – абсорбційному методі. Однопроменеві ГА – найпростіші з даного класу приладів. (рис 2.10)

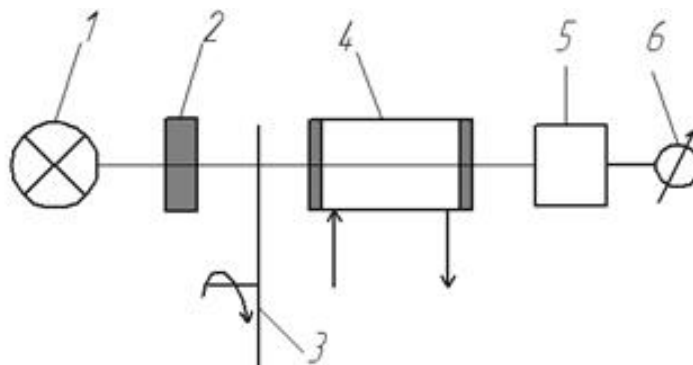


Рисунок 2.10 - Комбінована схема однопроменевого газоаналізатора з неселективним приймачем випромінювання: 1 - джерело ІЧ випромінювання; 2 - світлофільтр; 3 - модулятор (обтюратор); 4 - кювета; 5 – приймач ІЧ випромінювання; 6 - реєструючий або показуючий прилад.

В цих приладах випромінювання джерела 1 проходить через світловий фільтр 2, кювету з аналізованим газом 4, і потрапляє на приймач 5. Сигнал з приймача надходить на вимірювальний пристрій 6.

Всі однопроменеві ГА мають значний недолік: сигнал з приймача змінюється зі зміною його чутливості, інтенсивності випромінювання джерела та підсилення. Тому необхідна регулярне калібрування, що вимагає додаткового часу. Це є незручною умовою для приладів безперервної дії.

У двопроменевих приладах (рис. 2.11) випромінювання джерела розділяється на два потоки. Один з них проходить через кювету з аналізованим газом, інший – через порівнювальну кювету з речовиною, що не поглинає ІЧ випромінювання на аналітичній довжині хвилі. Обидва потоки фокусуються на приймач, а далі реєструється відношення або логарифм відношення інтенсивності обох потоків. Перевагами двопроменевих приладів є їхня висока стабільність і стійкість щодо змін дестабілізуючих параметрів. Не дивлячись на очевидні переваги й універсальність цих приладів з плином часу стали помітними їх недоліки, особливо при використанні у промисловості.

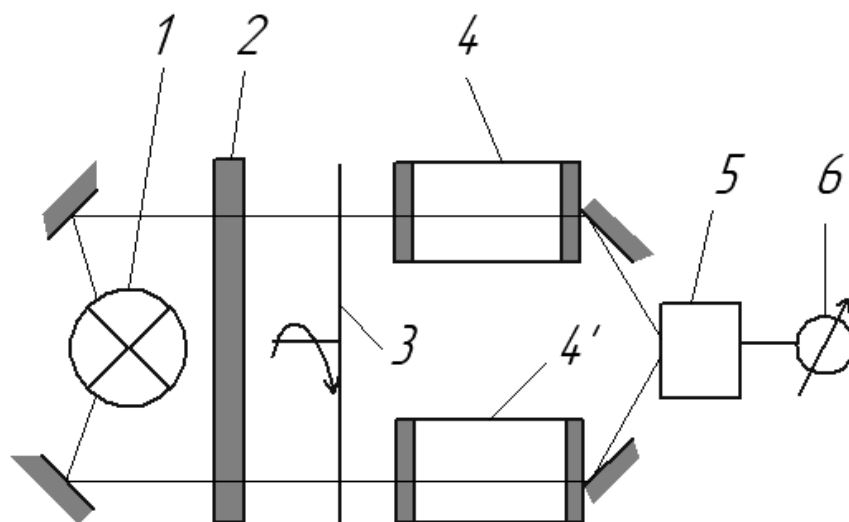


Рисунок 2.11 - Комбінована схема двопроменевого ГА з неселективним приймачем.

До основних недоліків такого схемного рішення слід віднести чутливість до не вимірюваних компонентів при накладанні смуги пропускання. При цьому засоби розділення і зведення потоків є досить складними. Для покращення селективності використовують схему приладу з газонаповненим фільтром (рис. 2.12), що заповнений сумішшю аналізованого компонента з азотом, ІЧ випромінювання почергово проходить через газонаповнений модулятор, що містить аналізований компонент та інертний газ. Зовнішнім світлофільтром 2 виділяється спектральний діапазон, що нас цікавить. Після проходження кювети 4, випромінювання потрапляє на приймач 5.

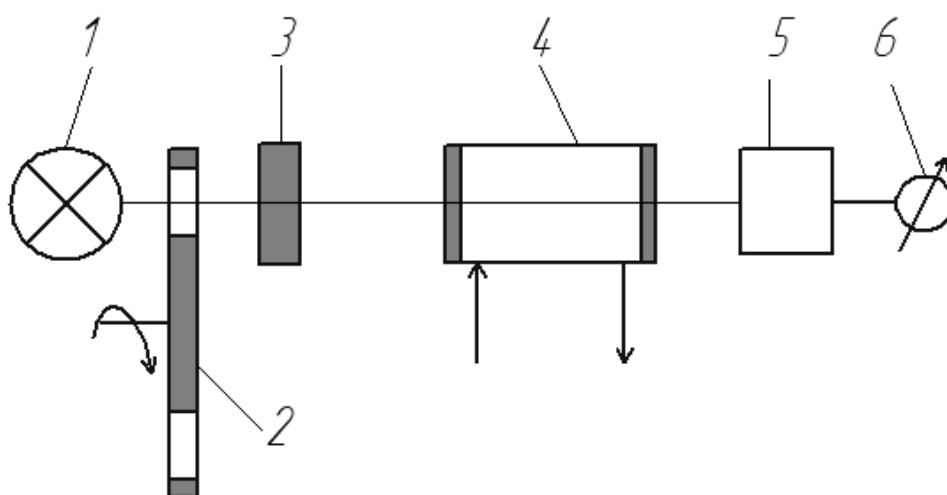


Рисунок 2.12 - Комбінована схема газоаналізатора з газонаповненим фільтром.

У нашій країні та за кордоном розроблений цілий ряд ІЧ аналізаторів різного призначення. Найбільший інтерес представляють аналізатори, що серійно випускаються, структурні схеми яких приведені на рисунках 2.13.

Більшість закордонних приладів відноситься до типу URAS (рис. 2.13). Вони базуються на симетричній двоканальній оптичній схемі безпосереднього відліку з диференціальним приймачем випромінювання. Висока стабільність роботи приладу забезпечується в результаті точного термостатювання та стабілізації оптичних та електронних вузлів приладу.

Висока експлуатаційна надійність досягається шляхом ретельного добору матеріалів, комплектуючих елементів, а також індивідуальної зборки та налаштування кожного приладу, та включає велике число аналізованих компонентів, діапазон виміру яких становить 0,01 – 100%.

За схемою URAS випущено ряд аналізаторів типу "INFRAKIT". Газоаналізатори даного типу містять два джерела випромінювання, дві камери – робочу та порівнювальну, оптико-адсорбційний приймач випромінювання.

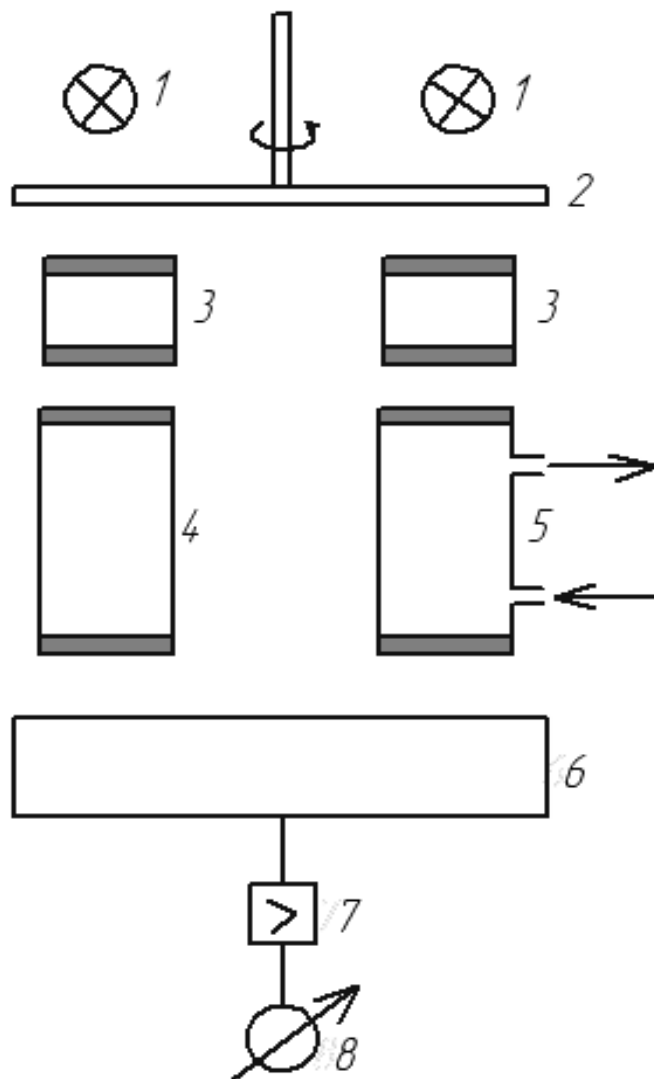


Рисунок 2.13 - Схема комбінована структурна ІЧ аналізатора URAS:

1 - випромінювач; 2 - об'єкторатор; 3 - камера, що фільтрує; 4 - робоча камера; 5 - порівнювальна камера; 6 - приймач; 7 - підсилювач; 8 - реєстратор.

Таблиця 2.2 - Основні технічні характеристики INFRALIT 4.

Мінімальний діапазон вимірювань	0,006%
Максимальний діапазон вимірювань	100%
Клас точності	2,5
Витрата	30 л/год
Смуга пропускання	2-12 мкм
Пилонепроникний корпус	+

За схемою, зображеною на рис.2.9, розроблений газоаналізатор для аналізу колошникового газу типу ОА 0304. Прилад призначений для безперервного роздільного вимірювання концентрації окису вуглецю, двоокису вуглецю в колошниковому газі доменних печей(табл. 2.3).

Таблиця 2.3 - Основні технічні характеристики ОА 0304. Границі вимірювань.

Окис вуглецю	0 – 35%
Двоокис вуглецю	0 – 20%
Клас точності	2,5

Основними недоліками таких аналізаторів є наявність двох джерел ІЧ випромінювання, тому що практично неможливо підібрати два ідентичних джерела, також наявність градієнта температур по порівняльній та робочій кюветам. Крім того, практично завжди в досліджуваній речовині присутні різні неселективні забруднення, механічні домішки тощо, тобто компоненти, які заважають поглинаючи ІЧ енергію практично у всьому діапазоні, тому що в еталонному (в порівняльному каналі таких компонентів немає) це призводить до додаткової похибки та зниженню точності приладу.

На рис.2.14 приведена схема газоаналізатора фірми Hiraba (Японія). Аналізатор містить одне джерело випромінювання 1, світлофільтр 3, робочу кювету 5, порівняльну кювету 6, два приймачі випромінювання 7, 8.

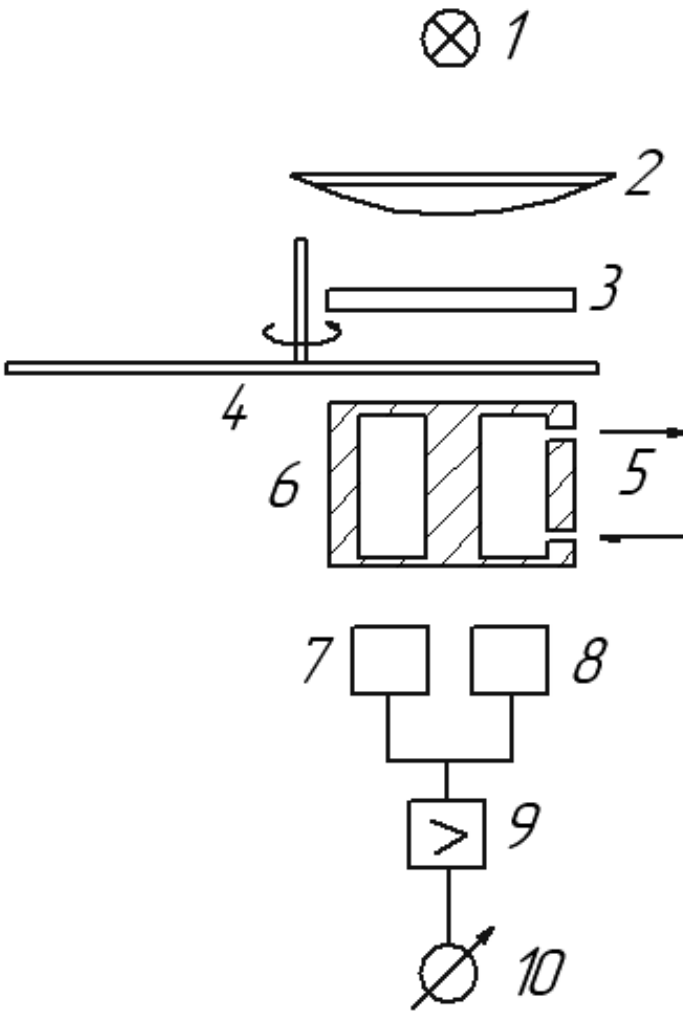


Рисунок 2.14 - Схема комбінована структурна ІЧ аналізатора фірми Hiraba.

1 – випромінювач; 2 – конденсор; 3 – світловий фільтр; 4 – обтюратор;
 5 – робоча кювета; 6 – порівняльна кювета; 7 і 8 – приймачі випромінювання;
 9 – підсилювач; 10 – реєстратор.

Таблиця 2.4 - Основні технічні характеристики ІЧ аналізатора фірми Hiraba.

Мінімальний діапазон вимірювань	0 – 0,3%
Максимальний діапазон вимірювань	0 – 100%
Випадкова похибка	0,5%
Додаткова похибка від змін температури аналізованої проби (на кожні 10°C)	14%
Стабільність	3% за 7 діб

До недоліків аналізаторів такого схемного рішення варто віднести високі вимоги до ідентичності спектральних та енергетичних характеристик приймачів випромінювання.

Алізатори, які містять одне джерело та один приймач випромінювання випускаються фірмою Hartman und Braun (Німеччина) типу Limas G. Схема такого аналізатора зображена на рис.4. Випромінювач 1 створює потік випромінювання, який проходить через конденсор 2, а потім ділиться системою дзеркал 3 і 4 на вимірювальне і порівняльне випромінювання. Далі випромінювання проходить через робочу 5 та порівняльну 6 кювету. Після цього обидва світлові потоки пройшовши через обтюратор 7 по чергово поступають до системи дзеркал 3,4 звідки поступають на конденсор 2, який направляє випромінювання на світловий фільтр 8. Фільтр виділяє вузький спектральний інтервал з максимумом пропускання на довжині хвилі λ , що співпадає з параметрами спектру поглинання газу, що аналізується. Приймач випромінювання 9 приймає сигнал і перетворює його на електричний сигнал і передає на підсилювач 10, який підсилює сигнал для подальшої обробки.

Таблиця 2.5 - Основні технічні характеристики аналізатора типу LimasG.

Мінімальний діапазон вимірювань	0 – 2%
Максимальний діапазон вимірювань	0 – 100%
Додаткова похибка від зміни температури аналізованої проби (на кожні 10°C)	3%
Стабільність	7 діб

Основними недоліками такого аналізатора є наявність градієнта температур між камерами та похибка від впливу компонентів, що заважають.

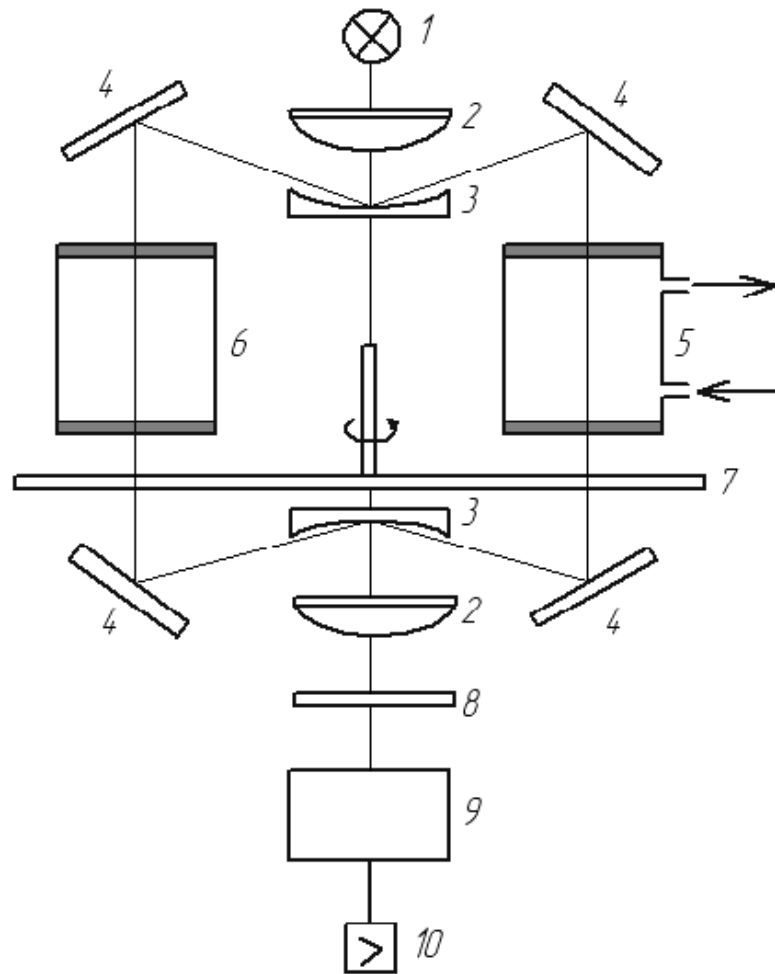


Рисунок 2.15 - Схема комбінована структурна ІЧ аналізатора Limas G

1 – випромінювач; 2 – конденсор; 3 та 4 – дзеркала; 5 - робоча кювета;
 6 - порівняльна кювета; 7 - обтюратор; 8 - світловий фільтр; 9 - приймач
 випромінювання; 10 - підсилювач.

На рис.2.16. приведено схему комбіновану структурну аналізатору моделі 106 фірми Анасон.

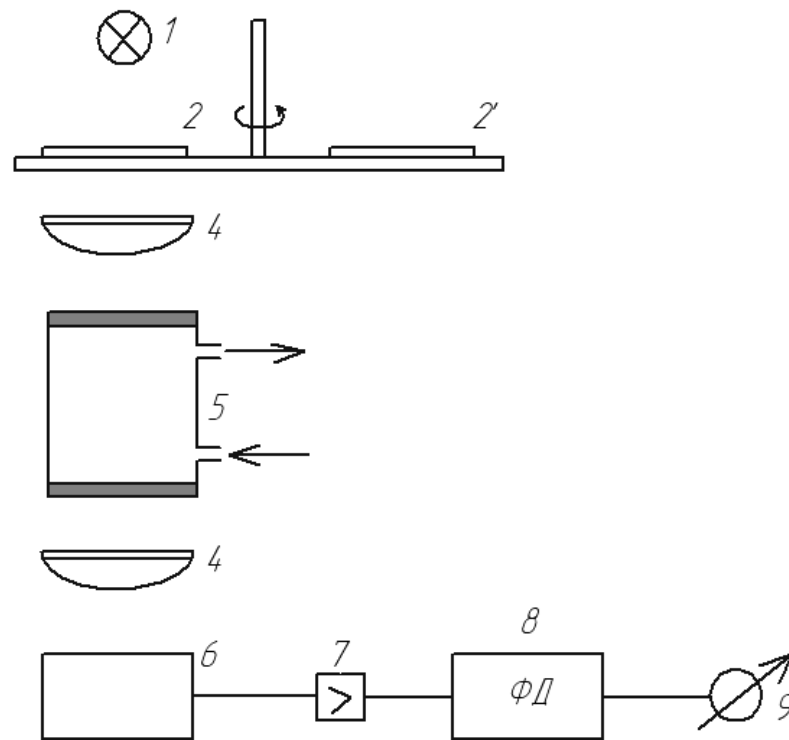


Рисунок 2.16 - Схема комбінована структурна ІЧ аналізатора Анасон 106

1 – випромінювач; 2 та 2' – світловий фільтр; 3 – обтюратор; 4 – конденсор; 5 – вимірювальна кювета; 6 – приймач випромінювання; 7 – підсилювач; 8 – фазочутливий детектор; 9 – реєстратор.

Таблиця 2.6 - Основні технічні характеристики аналізатору Анасон 106.

Мінімальний діапазон вимірювань	0 – 0,01%
Максимальний діапазон вимірювань	0 – 10%
Клас точності	1
Додаткова похибка від зміни температури аналізованої проби (на кожні 10°C)	3%
Стабільність	15 діб

Аналізатор містить одне джерело (1) та приймач (6) випромінювання та одну кювету (5). Обтюратор (3) виконаний у вигляді диска з порівнювальним (2) та робочим (2') інтерференційними світлофільтрами. При обертанні обтюратора на приймачі випромінювання поперемінно утворюються два

імпульси напруги, один із яких порівнювальний не залежить від концентрації, а другий, робочий, зменшується пропорційно концентрації вимірюваного компонента. Застосування однієї кювети дозволяє виключити похибки від впливу компонентів, що заважають, в аналізованій пробі та наявності градієнта температур в робочій та порівнювальній кюветах. Однак недоліком цієї схеми є наявність двох світлофільтрів, що підвищує вимоги до підбора однакових коефіцієнтів їхнього поглинання.

2.4 Огляд і аналіз сучасних аналогів

Автоматичний аналізатор 642ХЛ01 (рис. 2.17.). Даний вимірювач розроблено Українським науково-дослідним інститутом аналітичного приладобудування [12].



Рисунок 2.17 - Зовнішній вигляд аналізатору 642ХЛ01.

Аналізатор метану 642ХЛ01 призначено для автоматичного контролю метану в газовій суміші і може бути використано як автономний прилад-сигналізатор, а також у складі стаціонарної або пересувної лабораторії контролю забруднення атмосфери. Технічні характеристики наведено в табл.

Таблиця 2.7 - Технічні характеристик аналізатору 642ХЛ01

діапазон вимірювання масової концентрації	0-5,0 мг/м ³
під-діапазони	0,0 - 0,2; 0,2-1,0; 1,0 - 5,0 мг/м ³
дрейф вихідного сигналу в нульовій точці за 72г.	0,015 мг/м ³
межа основної приведеної допустимої похибки	15%
гранична чутливість	0,006 мг/м ³
час виходу на робочий режим не більш	60 хв.
аналогові уніфіковані електричні сигнали	0- 10В, 0-5 мА
час безперервної роботи без обслуговування	720 т
напруга	220 В
частота	50 Гц
споживча потужність	0,19 кВт
габаритні розміри	160х380х500 мм

Метод вимірювання – хемілюмінесцентний. Газоаналізатор має двоблокову конструкцію: блок аналітичний і блок конвертера та порти для підключення до ЕОМ.

Газоаналізатор ФПЗЗ

Мультигазовий портативний газоаналізатор ФПЗЗ (див. рисунок 1.18) вибухозахищеного виконання, призначений для одночасного виміру об'ємної долі горючих газів метану або пропана, кисню і моноокислу вуглецю в обмежених об'ємах, на робочих місцях, видачі звуковій і світловій сигналізації при перевищенні встановлених порогових значень об'ємної долі газів. Має функцію накопичення вимірюваних даних.



Рисунок 2.18 - Газоаналізатор ФП33

Вимірювані гази:

- Метан (CH_4) або Пропан (C_3H_8)
- Кисень (O_2)
- Оксид вуглецю (CO).

Особливості будови: - мультигазовий прилад; - одночасний контроль концентрацій декількох газів; - має функцію накопичення даних про концентрації вимірюваних газів з періодом 3 секунди за останніх 270 годин роботи; - міцний металевий корпус; - широкий температурний діапазон використання; - вбудований мікронасос для примусового забору проби; - кольоровий графічний індикатор OLED; - мала вага; - довгий час роботи від батареї; - є індикатор розряду батареї; - висока точність виміру; - звукова і світлова сигналізація при перевищенні встановлених порогових значень об'ємної долі вимірюваних газів; - захист термokatалітичного сенсора від отруєння - при перевищенні максимально допустимої концентрації газу прилад автоматично відключає сенсор і мікронасос; - забезпечений інфрачервоним сервісним портом для зняття даних накопичення і діагностики або налаштування приладу, без необхідності розбирання корпусу; - йде у комплекті із забірною штангою.

Термін служби приладу - не менше 10 років.

Сфера застосування: колодязі і колектори підземних інженерних мереж, каналізаційні колектори, теплові і телефонні мережі, тунелі, цистерни та інші приміщення, де нестача кисню і наявність горючих і токсичних газів яляють загрозу здоров'ю або небезпеку вибуху. Газоаналізатор має маркування вибухозахисту «IEx[ib]diiBT5» і призначений для експлуатації у вибухонебезпечних зонах.

Технічні характеристики даного приладу наведені у таблиці 2.8 а пороги спрацювання звукової сигналізації у таблиці 2.9

Таблиця 2.8 - Технічні характеристики газоаналізатора ФПЗЗ

Маса, габарити, діапазон робочих температур	Маса, г не більше	Габарити, мм	Діапазон робочих температур, °C
Без штанги забірної	700	160x120x33	від -30 до +50
Час автономної роботи, год	10		
Час виходу на 90% показів	с, не більше		
по метану (пропану)	15		
по кисню	30		
по оксиду вуглецю	90		
Номінальна потужність, л/хв	0,3		
Діапазон вимірювання, показів	вимірювання, %	покази, %	
Об'ємна частка CH ₄	0÷2,50	0÷5,00	
Об'ємна частка C ₃ H ₈	0÷1,00	0÷2,00	
Об'ємна частка O ₂	0÷25,00	0÷25,00	
Масова концентрація CO, мг/м ³	10÷125	10÷125	

Таблиця 2.9 - Поріг спрацювання сигналізації газоаналізатора ФПЗЗ

Поріг спрацювання сигналізації	Поріг 1, %	Поріг 2, %	Межа похибки, %
Об'ємна частка CH ₄	1,00	5,00	±0,2
Об'ємна частка C ₃ H ₈	0,40	2,00	±0,2
Об'ємна частка O ₂	18,0	2,00	±0,2
Масова концентрація CO, мг/м ³	20	100	±0,2

Аналітичний спектральний комплекс 306 АС 01

Комплекс 036 АС 01 призначений для неперервного вимірювання концентрації оксиду азоту (NO), діоксиду азоту (NO₂), діоксиду сірки (SO₂), вуглекислого газу (CO₂), метану (CH₄).

Основною сферою використання приладу є екологічний моніторинг шкідливих газових викидів в атмосферу, а також контроль відвідних газів в технологічних процесах з метою забезпечення оптимального горіння палива або ефективної роботи систем газової очистки в енергетиці, авіабудівництві, хімічному будівництві та інших видах промисловості. Комплекс 306 АС 01 дозволяє істотно знизити енергетичні витрати. Технічні характеристики для 306 АС 01 вказані в табл. 2.10.

Таблиця 2.10 - Технічні характеристики комплексу 306 АС 01

Діапазон вимірювання CO ₂ , %	0...20
Приведена похибка, %	± (0,10 + 0,05C)
Температура газу для першого діапазону, °C	(- 30 ... + 33) ± 1,0
Температура газу для другого діапазону, °C	(+ 33 ... 800) ± 2,0
Тиск газу , кПа	(0...10) ± 0,25
Швидкодія, с	40
Живлення змінного струму, В	220
Споживча потужність, В·А	100
Габаритні розміри, мм	140 x 500 x 420
Маса, кг	9

Газоаналізатор 325 ФА 01

Газоаналізатор 325 ФА 01 призначений для вимірювання концентрацій CO, CO₂, C_nH_m, NO, SO₂ і O₂ в газах енергетичний установок промислових підприємств, транспортних засобів (рис 2.19). Контролюється також температура аналізованого газу.



Рисунок 2.19 - Зовнішній вигляд газоаналізатору 325 ФА 01

Склад:

- газоаналізатор 325 ФА 01;
- блок пробопідготовки;
- зонд пробозабірний;
- пульт керування з принтером.

Пульт дистанційного керування з вбудованим принтером дозволяє проводити вимірювання по встановленим нормативам, а також дає можливість роздрукувати протокол з результатами вимірювання.

Технічні характеристики газоаналізатору 325 ФА 01 вказані в табл. 2.11.

Таблиця 2.11 - Технічні характеристики ГА 325 ФА 01

Діапазон вимірювання, %	0...15
Температура газу, °С	0...130
Похибка вимірювань, %	± 3,0
Інтерфейс	RS 232
Споживча потужність, В·А	40
Температура, °С	+ 5 ... + 40
Атмосферний тиск, мм. рт. ст.	630...800
Відносна вологість, %	98 при 40 °С
Габаритні розміри, мм	294 x 203 x 403
Маса, кг	9

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 2

У розділі проаналізовано та аналіз методів та засобів контролю концентрації метану в технології виробництва біогазу. Для знаходження концентрації метану у промисловості та лабораторній практиці застосовують засоби що ґрунтуються на електрохімічних, оптичних, акустичних, теплових, магнітних та інших методах вимірювань.

Інструментальне забезпечення оптичних методів контролю концентрації метану в газоповітряній суміші дозволяє виміряти оптичну щільність, інтенсивність випромінювання та коефіцієнт заломлення досліджуваної газової суміші, та визначити залежність концентрації метану в газоповітряній суміші від інформативного параметру застосованого методу. Найбільш чисельну групу методів аналізу складають спектральні методи, що відрізняються не тільки різноманіттям, але і широким застосуванням для аналізу газоподібних і рідких речовин. Вони охоплюють велику частину спектра електромагнітних коливань.

Проведено аналіз методів вимірювання концентрації метану і обґрунтовано вибір оптико-адсорбційного методу вимірювання. Зроблено огляд схем газоаналізаторів придатних для вимірювання концентрації метану в біоенергетичному виробництві.

Необхідно проаналізувати методи та засоби контролю концентрації метану в технології виробництва біогазу.

Необхідно розробити схему рішень газоаналізатора для контролю виходу метану у біоенергетичному виробництві.

РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА СХЕМНОГО РІШЕННЯ ГАЗОАНАЛІЗАТОРУ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ВИХОДУ МЕТАНУ В БІОЕНЕРГЕТИЧНОМУ ВИРОБНИЦТВІ.

У даний час, основна маса доступних на світовому ринку ІЧ-газоаналізаторів працюють, в основному, у ближній, та частково, у середній області ІЧ спектру. При виборі конструктивної схеми вимірювача для контролю виходу метану в біоенергетичному виробництві вирішено застосувати ІЧ оптико-адсорбційні методи вимірювання та різницеву схему зрівняння сигналів вимірювальної інформації у вимірювальному тракту. Дане схемне рішення дозволяє забезпечити гарну селективність та точність вимірювань.

3.1 Технічні критерії вибору структури вимірювача

У процесі вибору схемного рішення вимірювача для контролю виходу метану у біоенергетичному виробництві було розроблено вимоги до конструкції приладу що має містити наступні складові частини:

1. Система підготовки проби – призначена для приведення неінформативних параметрів (тиск, вологість, температура, наявність магнітних чи електричних полів тощо) до таких, що сприймає вимірювальний перетворювач;
2. Кювета (камера аналізу) – частина аналізатора, куди подається суміш, що аналізується;
3. Випромінювач – застосовується для створення оптичного сигналу і передачі його у вимірювальну камеру;
4. Пристрій утилізації середовища, що аналізується;
5. Фотоприймальний блок, що призначений для прийому сигналу з кювети і передачі його на блок обробки інформації;

6. Блок обробки інформації - обробляє інформативний сигнал і перетворює його в зручний для сприйняття вид;

7. Індикатор - відображає дані про досліджуваний об'єкт у зручному вигляді для оператора приладу.

Прилад повинен мати масу не більше 10 кілограм і бути ремонтпридатним виробом. Границя допустимої основної відносної похибки вимірювання концентрації метану становить $\pm 5\%$. Потужність, яку споживає прилад, має бути мінімальною; Діапазон вимірювання концентрації метану становить 0-100% об.

Вимоги до відбору і подачі проби:

- на вхід аналізатору належить подавати підготовлені проби суміші речовини, що аналізується, за допомогою системи підготовки проби, причому температура проби на вході аналізатора повинна бути вищою температури конденсації компонентів проби;
- параметри вихідних сигналів повинні відповідати об'ємній частині вимірювального компонента у пробі - відсотки (%);
- аналізатор повинен мати вихід аналогових сигналів, тобто електричний сигнал в діапазоні 0-20 (мВ);
- габарити – мінімальні.

Умови експлуатації:

- температура оточуючого середовища (+10.. .45) °С.
- атмосферний тиск (84.. .106,7) кПа.
- відносна вологість навколишнього середовища (30...80%) при температурі 25°С.
- аналізатор повинен мати живлення від електричної мережі напругою (220) В і частотою (50 \pm 1) Гц.
- напруженість зовнішнього магнітного поля (0 — 40) А/м; амплітуда зміщення (0-35) мм.

- конструктивне виконання газоаналізатора, за винятком первинного вимірювального перетворювача (ПВП), має забезпечувати захист від проникнення всередину пилу та вологи.
- газоаналізатор має експлуатуватися в приміщеннях, де вміст газів знаходиться в межах санітарних норм.

Вимоги до складових частин і експлуатаційних матеріалів:

- первинний вимірювальний перетворювач (ПВП), має бути оптичним;
- газоаналізатор повинен мати пристосування для кріплення на місці експлуатації.

Вимоги до метрологічного забезпечення:

Повірка газоаналізатора має виконуватись із застосуванням стандартних зразків складу повірочних газових сумішей і генераторів повірочних газових сумішей.

3.2 Вибір робочого діапазону аналізатору метану

Робота газоаналізатора метану повинна здійснюватися в широкому діапазоні температур навколишнього середовища. Виходячи з цього, необхідно проводити якісний вибір і розрахунок елементів конструкції газоаналізатора. Газоаналізатор метану складається з наступних функціональних вузлів:

- 1) первинного вимірювального перетворювача
- 2) вторинного вимірювального перетворювача
- 3) вимірювального кюветного відділення
- 4) стабілізованого по струму або напрузі джерела випромінювання
- 5) відлікового пристрою індикації

Для перетворення частоти в довжину хвилі скористаємося співвідношенням:

$$\lambda = \frac{10^4}{\nu} \quad (3.1)$$

де λ – довжина хвилі;

ν – частота.

Аналізуючи спектр поглинання можна сказати, що метан поглинає в діапазоні довжин $\lambda = 3.3 \dots 3.9$ мкм., - це інфрачервона область. метан має два максимуми спектра поглинання, які знаходяться на довжинах хвиль $\lambda_1 = 3,4$ мкм; $\lambda_2 = 3,7$ мкм. Вибираємо для аналізу максимум, яких знаходиться на довжині хвилі $\lambda = 3,3$ мкм. Аналізуючи спектр вибираємо смугу поглинання в заданому діапазоні ($\lambda_n \dots \lambda_b$). $\lambda_n = 3,1$ мкм; $\lambda_b = 3,6$ мкм.

Через те, що вимірювання метану здійснюється в газовій суміші проведемо аналіз впливу на спектр поглинання метану спектрів поглинання компонентів біогазу. Потрібно подивитись, чи не перекриваються ці спектри. Максимальне поглинання мають, озон, двоокис вуглецю та водяна пара.

Пари води H_2O визначають по поглинанню випромінювання в ІЧ-області спектру (8,8 мкм); сірководню H_2S (7.7 мкм); мкм); окис вуглецю CO (4,6...4,7 мкм); діоксид вуглецю (9,0...10.0 мкм); закис азоту N_2O (4,5...8,7 мкм); окис азоту NO (5,3 мкм); діоксид азоту NO_2 (6,34 мкм); діоксид сірки SO_2 (7,0...9,0 мкм).

З наведеного вище можна зробити висновок, що спектр поглинання метану (3,1...3,6 мкм) не перекривається жодним із компонентів біогазу, тому даний діапазон хвиль можна використовувати для подальшого аналізу і побудови оптичної системи.

3.3 Загальна схема оптико-абсорбційного газоаналізатора метану

В нашому вимірювачі ми будемо використовувати відомий спосіб аналізу газів із різницеvim зрівнянням Будемо користуватись загальною двоканальною, двопроменевою диференційною схемою (рис. 3.1) [18].

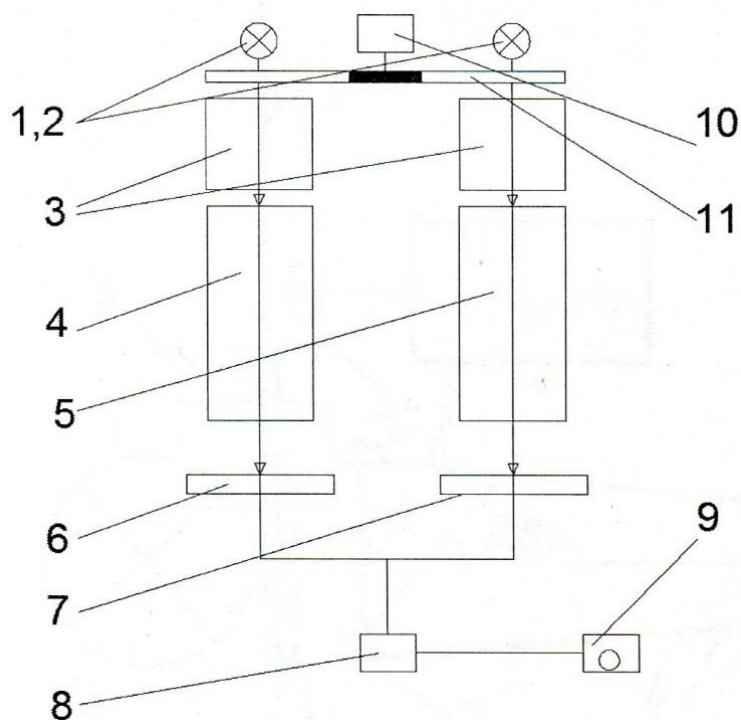


Рисунок 3.1 - Схема функціональна оптичного абсорбційного газоаналізатора: 1,2 - джерела випромінювання; 3 - оптичні фільтри; 4,5 - робоча та порівнювальна кювети; 6,7 - приймачі випромінювання; 8 - підсилювач; 9 - вимірювальний пристрій; 10 і електродвигун; 11 - обтюратор.

Недоліком такого схемного рішення є складність та громіздкість конструкції. Тому було замінено не технологічне розміщення опорного каналу безпосереднім випромінюванням в кювету, а розділення опорного та робочого каналів здійснюється за допомогою оптичних фільтрів. Один з фільтрів має пропускати те випромінювання, яке відповідає полосі поглинання вимірюваного газу, а інший - має пропускати випромінювання, не поглинене вимірюваним і фоновим газами.

Розглянувши промислові зразки доступних в Україні вимірювачів сполук виду C_xH_y , можна зробити висновок, що всі вони мають у своєму складі ІЧ-випромінювач, світлофільтр, вимірювальну кювету, обтюратор та підсилювач [9]. Отже, для проектування газоаналізатору контролю виходу метану у біоенергетичному виробництві було вибрано 2-канальну різницеву

схему порівняння сигналів вимірювальної інформації на виході зразкового та основного вимірювального каналів. Схема комбінована структурна інфрачервоного аналізатору контролю концентрації CH_4 у виході біоенергетичного виробництва є наступною (рис.1).

Для реалізації технічних умов найбільш оптимальним буде обрати наступну структурну схему (рис.3.2).

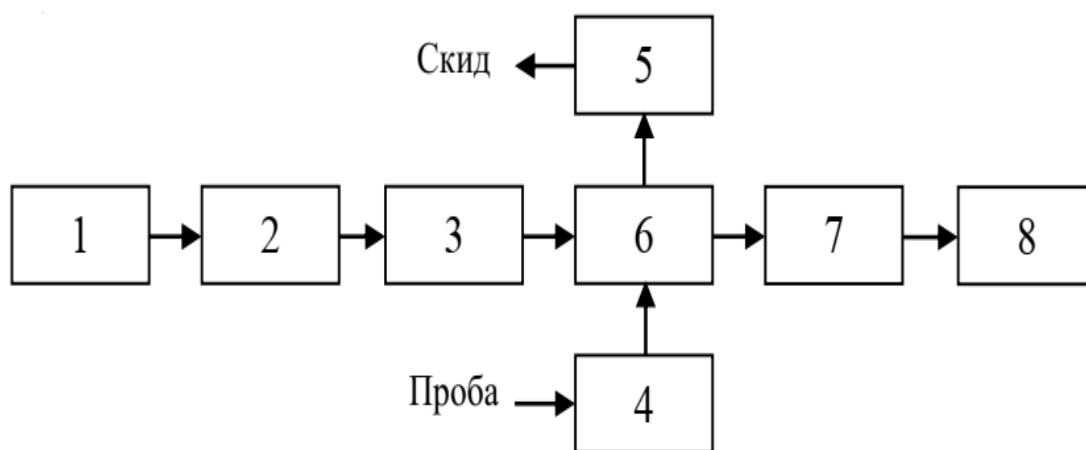


Рисунок 3.2 - Схема комбінована структурна оптико-абсорбційного аналізатора CH_4 : 1 – джерело випромінювання; 2 – оптична система випромінювача; 3 – модулятор із світлофільтрами; 4 – система підготовки проби; 5 – система утилізації проби; 6 – кюветне відділення; 7 – фотоприймальний пристрій; 8 – попередній підсилювач;

На початку вимірювань проба від пробовідбірника потрапляє в систему підготовки проби, там вона фільтрується від мікрочастинок бруду та пилу. Наступний етап включає внесення аналізованої суміші у вимірювальну кювету, потім в систему утилізації проби, де відбувається фільтрація газоповітряної суміші від шкідливих речовин для подальшого скиду газу в оточуюче середовище.

Потік ІЧ-випромінювання проходить через вимірювальну кювету, де його частина поглинається аналізованим газом. Потім, випромінювання потрапляє на робочий та порівнювальний світлофільтри, які вбудовані у

модулятор. Робочий світлофільтр пропускає довжину хвилі, яка поглинається вимірювальним газом CH_4 , а порівнювальний світлофільтр формує довжину хвилі, яка буде відповідати нульовому газу. Після інтерференційних фільтрів модульоване випромінювання, по черзі із вимірювального та порівняльного каналів поступає на фотоприймач, де здійснюється перетворення його в електричний сигнал. Далі за допомогою оптопари відбувається синхронізація даних двох сигналів – різницеве зрівняння.

Після обробки у фотоприймачі, аналоговий сигнал вимірювальної інформації потрапляє на попередній підсилювач, де він підсилюється до необхідного значення по струму чи напрузі. Підсилений сигнал потрапляє на вторинний вимірювальний перетворювач.

Після цього сигнали з обох каналів складаються в суматорі з подальшим підсиленням до нормованого сигналу. Далі підсилений сигнал потрапляє на пристрій вибірки та збереження. Після цього на аналогово-цифровому перетворювачі (АЦП) перетворюється в цифровий код, котрий передається в мікропроцесор, де інформація про концентрацію обробляється і передається на індикатор

При відсутності у кюветі вимірюваного газу, інтенсивність випромінювання, яке пройшло крізь робочий і опорний канали, однакова. Поява вимірюваного газу в кюветі послабить випромінювання в робочому каналі, а приймач випромінювання зареєструє модульоване різницеве випромінювання між робочим і опорним каналами, пропорційне концентрації вимірюваного газу.

3.4 Вибір вузлів вимірювача концентрації метану у виході біоенергетичного виробництва

Вибрано вузли вимірювача концентрації метану у виході біоенергетичного виробництва, розраховано робочу кювету, розраховано значення потоку випромінювання, розраховано вихідний сигнал, вибірано фотоприймач.

3.4.1 Розрахунок кюветного відділення

Одним з найважливіших параметрів ГА є довжина робочої кювети ℓ . Ця величина визначається по мінімальному значенню потоку випромінювання, яке в μ раз більше порогового потоку, де μ - відношення сигналу до шуму. Крім того, величина ℓ залежить також від використовуваного джерела випромінювання, від інтегральної чутливості приймача, від величини коефіцієнта поглинання аналізованого газу і мінімальної вимірюваної концентрації.

Використовуваний тип джерела випромінювання визначає наявність оптичної системи, призначення якої максимально передати всю енергію випромінювання на приймальний майданчик приймача. Отже, при використанні сучасних розробок в області світловипромінюючих діодів, які випускаються в корпусі, що виконує функцію конденсатора, те використання оптичної системи доцільне лише для усунення розбіжності світлового пучка із-за дифракції.

Оптичну систему можна представити у такому вигляді (рис. 3.3.):

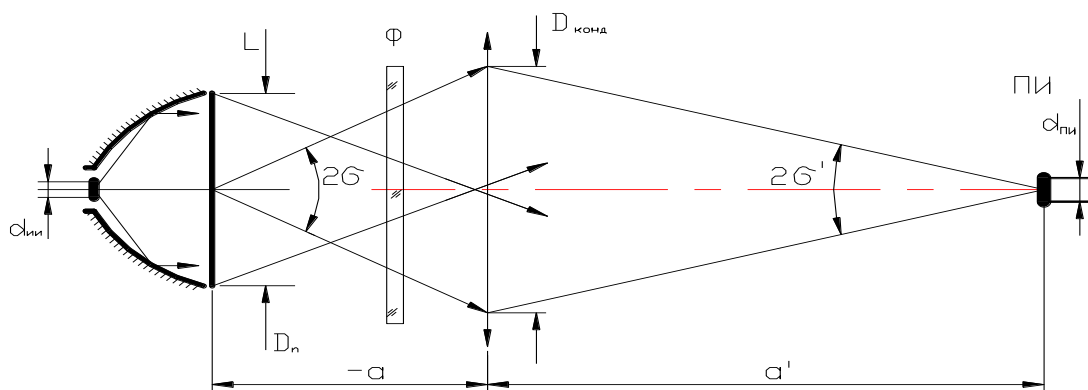


Рисунок 3.3 - Оптична система

Як джерело випромінювання використовується світловипромінюючий діод, поміщений в корпус з параболічною поверхнею. Розбіжність пучка на виході параболоїда можна визначити виразом

$$\alpha = \frac{d_{\text{ин}}}{f'_n} * \mu \quad (3.2)$$

де $d_{\text{ин}}$ - діаметр випромінюючого майданчика;

f'_n - фокусна відстань параболоїда; $\mu = 3438$.

Наявність β конденсатора можна визначити з виразу:

$$\beta = \frac{y'}{y} = \frac{d_{nu}}{2} * \frac{2}{D_n} = \frac{d_{nu}}{D_n} \quad (3.3)$$

Знаючи величини $d_{\text{ин}} = 1\text{мм}$, $D_n = 8\text{мм}$, отримаємо: $\beta = 0,125$

Оскільки величина α залежить від довжини кювети, а остання лежить в межах 150-200мм, то, таким чином, фокусна відстань конденсора визначиться виразом

$$f' = \frac{a'}{(1 - \beta)} = \frac{(150 \div 200)}{(1 - 0,125)} = 171,43 \div 228,57\text{мм} \quad (3.4)$$

Як елемент фільтрації використовується інтерференційний фільтр, спектральна характеристика якого і основні параметри наступні(рис.3.4-3.5.):

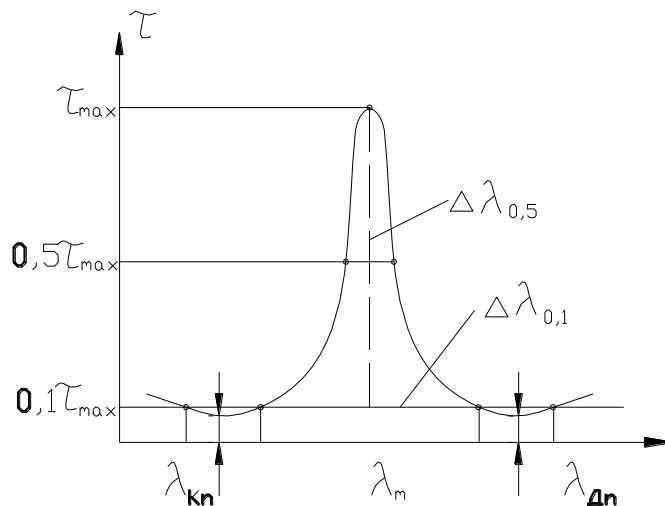


Рисунок 3.4 - Спектральна характеристика інтерференційного фільтра

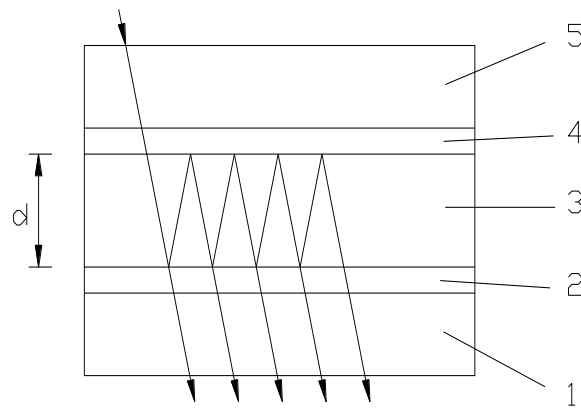


Рисунок 3.5 - Основні параметри інтерференційного фільтру

1 - підкладка; 2 - діелектричне дзеркало; 3 - розділовий проміжний шар; 4 - друге діелектричне дзеркало; 5 - пластина (кольорове скло для зрізу максимумів, що заважають)

Таблиця 3.1 - Основні параметри інтерференційного фільтру

$\lambda_m, \text{мкм}$	1,1-10
$\tau_{\max}, \%$	8,5-75
$\frac{\Delta\lambda_{0,5}}{\lambda_m}$	0,03 0,1
$\frac{\Delta\lambda_{0,1}}{\lambda_m}$	0,09 0,15
$\frac{\Delta\lambda_{\text{КП}}}{\lambda_m}$	1,47 1,44
$\tau_{\phi}, \%$	2,0

Товщина шару d вибирається з умови отримання максимуму потрібного порядку для розрахункової довгі хвилі.

3.4.2 Розрахунок значення потоку випромінювання

У основі енергетичного розрахунку лежить закон Бугера, що визначає значення потоку випромінювання після проходження середовища, що містить вимірюваний компонент:

$$\Phi = \Phi_0 e^{-KC\ell} \quad (3.5)$$

Прийнявши коефіцієнт поглинання $K=\text{const}$ і розклавши експоненту в ряд

$$e^x = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{x^n}{n!} = 1 + x + \frac{x^2}{2!} + \dots + \frac{x^n}{n!} \quad (3.6)$$

Отримаємо

$$\Phi = \Phi_o (1 - KC\ell) \quad (3.7)$$

Залежність променистої енергії, що поглинається, від концентрації вимірюваного компоненту можна представити графіком(рис. 3.6):

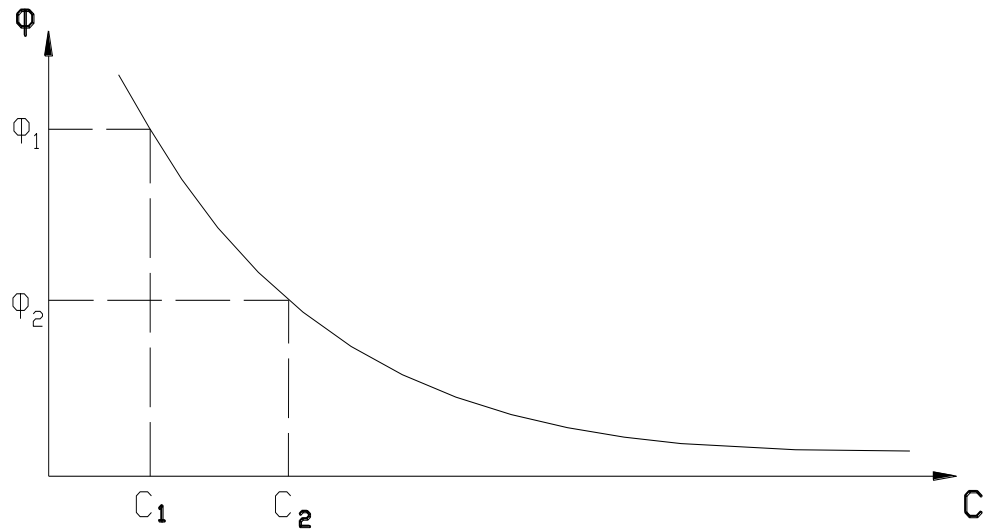


Рисунок 3.6 - Залежність променистої енергії, що поглинається, від концентрації вимірюваного компоненту

Мінімальний пороговий потік, який може бути зареєстрований приймачем випромінювання, визначається пороговою концентрацією $\Delta C_{\text{пор}}$. Її можна виразити через те значення, яке слід реєструвати як інформативну величину.

$$\Delta\Phi = \Phi_1 - \Phi_2 = \Phi_o(1 - KC_1\ell) - \Phi_o(1 - KC_2\ell) = \Phi_o(K\ell(C_2 - C_1)) \quad (3.8)$$

$$\Delta C_{\text{пор}} = C_2 - C_1 \quad (3.9)$$

Прийmemo $C_1=0$, тоді $\Delta C_{\text{пор}} = C_2$.

3.4.3 Розрахунок вихідного сигналу

Вихідним сигналом приймача випромінювання є добуток чутливості ПВП і падаючого на нього потоку випромінювання

$$U_s = \Delta\Phi \cdot S_{\text{ПВП}} \quad (3.10)$$

$$U_s = \Phi_0 K \ell \Delta C_{\text{пор}} \cdot S_{\text{ПВП}} \quad (3.11)$$

Оскільки порогове значення сигналу ПВП визначається шумами останнього, то, враховуючи значення $\mu = c / m$, отримаємо

$$U_s = \mu \cdot U_{\text{пор}} \quad (3.12)$$

$$U_{\text{пор}} = \sum_{i=1}^n \sqrt{U_{\text{ш } i}^2} \quad (3.13)$$

$$\mu U_{\text{пор}} = \Phi_0 S'_{\text{ПВП}} K \ell \Delta C_{\text{пор}} \quad (3.14)$$

Значення Φ_0 визначається потужністю випромінювання ПВП в діапазоні спектру, де аналізується вимірюваний компонент, з урахуванням втрат в оптичному тракті.

Величина пропускання оптичної системи визначатиметься втратами в конденсорі, а також у віконцях кювети. Оскільки прилад повинен забезпечити роботу в спектральному діапазоні довжин хвиль $\Delta\lambda = 2...5\text{мкм}$, в цьому випадку необхідно використовувати матеріали, добре проникні випромінювання в цій ділянці спектру. Крім того, матеріали повинні бути стійкими до дій зовнішнього середовища, вібрацій, трясінь, ударів. Краще всього в цьому випадку підходить синтетичний корунд. Пропускання корунду у вказаному діапазоні $\Delta\lambda$ складає 84%. Тому:

$$\tau_{\text{ос}} = \prod_{i=1}^3 \tau_i = (0,84)^3 = 0,59 \quad (3.15)$$

Крім того, слід враховувати коефіцієнт пропускання інтерференційного фільтру, величина якого максимально складає 80-85%.

Тоді пропускання оптичної системи:

$$\tau_{OC} = \prod_{i=1}^3 \tau_i \cdot \tau_{uf} = 0,47 \quad (3.16)$$

Також слід пам'ятати про те, що інтегральна чутливість ПВП дається при нагоді калібрування по відомому випромінювачу. Тому слід проводити перерахунок чутливості по реальному випромінювачу.

Після проведених процедур довжина кювети визначиться наступним виразом:

$$\ell_{\min} = \frac{\mu \cdot U_{\text{нор}}}{\Phi_o S_{\text{ПИ}}^P \tau_{OC} K \Delta C_{\text{нор}}} \quad (3.17)$$

Використовуючи в якості $\Delta C_{\text{нор}}$ найменше значення концентрації вимірюваних компонентів, можна розрахувати значення ℓ_{\min} , необхідні для вимірювання цих газів.

Коефіцієнт K розраховуються по наближеній формулі $K \approx \alpha / \Delta \nu$, де f - інтегральна інтенсивність смуги, $\Delta \nu$ - ширина смуги.

Основні компоненти і властиві їм величини представлені в таблиці

Таблиця 3.2 - Основні компоненти

Газ	ν_o , см^{-1}	α , см^{-2}	$\Delta \nu$, см^{-1}	K	$\nu_{\text{лев}}$, см^{-1}	$\nu_{\text{пр}}$, см^{-1}	λ_0 , мкм	$\lambda_{\text{нов}}$, мкм	$\lambda_{\text{пр}}$, мкм
CH ₄	3018	320	464	0,69	2786	3250	3,31	3,07	3,59
CO	2143	260	230	1,13	2028	2258	4,67	4,43	4,93

При обчисленні $U_{\text{нор}}$ необхідно врахувати два види шумів - тепловий

$\bar{U}_{\text{Т.Ш.}}^2$ і дробовий $\bar{U}_{\text{др.ш.}}^2$.

$$\bar{U}_{\text{Т.Ш.}}^2 = 4kTR\Delta f \quad (3.18)$$

$$\bar{U}_{\text{др.ш.}}^2 = 2eI_0 R_H^2 \Delta f \quad (3.19)$$

де $K=1,38 \times 10^{-23} \frac{Дж}{К}$ - постійна Больцмана;

T - температура навколишнього середовища,

$K; R$ - вхідний опір приймального пристрою;

Δf - смуга частот електронного тракту;

e - заряд електрона;

I_o - середнє значення струму в ланцюзі ПВП;

R_H - опір навантаження.

3.4.4 Вибір фотоприймача та розрахунок його характеристик

Оскільки як ПВП використовується піроелектричний приймач МГ-30, то вищевказані величини мають наступні значення: $T=293\text{ К}$, $R=500\text{ Ом}$, $I_o=0,52 \cdot 10^{-3}\text{ А}$, $R_H=1,5 \cdot 10^6\text{ Ом}$.

Смуга частот визначається згідно частоті модуляції, яка, у свою чергу, залежить від постійної часу ПВП.

$$\Delta f = 0,1 \cdot f_m \quad (3.20)$$

$$f_m = \frac{1}{2\pi\tau_3} \quad (3.21)$$

Піроелектричний приймач МГ-30 має наступні характеристики:

площа чутливого майданчика A , мм ²	1 x 1
частота модуляції f , Гц	50-300
вольт - ваттна чутливість S_u , В/Вт	1000
пороговий потік $\Phi_{пор}$, Вт·Гц ^{-1/2}	$2 \cdot 10^{-9}$
питома визначальна здатність Δ^* , смГц ^{1/2} Вт ⁻¹	$3,3 \cdot 10^8$

Таким чином, маючи вже відому частоту модуляції, можна визначити смугу частот електричного тракту.

Обираємо $f_m=250$. Тоді $\Delta f = 0,1 \cdot 200 = 25\text{ Гц}$.

$$\bar{U}_{T.ш.}^2 = 4 \cdot 1.38 \cdot 10^{-23} \cdot 500 \cdot 25 \cdot 297 = 2,05 \cdot 10^{-16} \quad (3.22)$$

$$\bar{U}_{\partial p.ш.}^2 = 2 \cdot 1.6 \cdot 10^{-19} \cdot 0,52 \cdot 10^{-3} \cdot (1,5 \cdot 10^6)^2 \cdot 25 = 9,36 \cdot 10^{-9} \quad (3.23)$$

$$U_{пор} = \sqrt{\bar{U}_{T.ш.}^2 + \bar{U}_{\partial p.ш.}^2} = \sqrt{2,05 \cdot 10^{-16} + 9,36 \cdot 10^{-9}} = 9,67 \cdot 10^{-5} \quad (3.24)$$

Чутливість ПВП по реальному джерелу визначається виразом

$$S^P = S^{\partial T} (\xi_p / \xi_{\partial T}) \quad (3.25)$$

$$\text{де } \xi_p = \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} S(\lambda) \Phi_p(\lambda) d\lambda}{\int_0^{\infty} \Phi_p(\lambda) d\lambda} \quad (3.26)$$

$$\xi_{\partial T} = \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} S(\lambda) \Phi_{\partial T}(\lambda) d\lambda}{\int_0^{\infty} \Phi_{\partial T}(\lambda) d\lambda}, \quad (3.27)$$

де $S(\lambda)$ - спектральна характеристика ПВП

$\Phi_p(\lambda)$, $\Phi_{\partial T}(\lambda)$ - потоки випромінювання відповідно реального і еталонного джерела.

Теплові приймачі випромінювання калібруються по джерелу з температурою $T=573$ К. Отже використовуючи закон Планка, що описує залежність спектральної енергетичної світимості від довжини хвилі і температури, можна знайти коефіцієнти ξ_p і $\xi_{\partial T}$

$$\xi_p = \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} S(\lambda) \Phi_p(\lambda) d\lambda}{\int_0^{\infty} \Phi_p(\lambda) d\lambda} = \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} S(\lambda) M_p(\lambda) A d\lambda}{\int_0^{\infty} M_p(\lambda) A d\lambda} = \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} S(\lambda) M_p(\lambda) d\lambda}{\int_0^{\infty} M_p(\lambda) d\lambda} \quad (3.28)$$

$$\xi_{\vartheta T} = \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} S(\lambda) M_{\vartheta T}(\lambda) d\lambda}{\int_0^{\infty} M_{\vartheta T}(\lambda) d\lambda} \quad (3.29)$$

$$M(\lambda) = \int \frac{C_1}{\lambda^5 (e^{\frac{C_2}{\lambda T}} - 1)} d\lambda \quad (3.30)$$

,

$$C_1 = 3,7415 \cdot 10^4 \text{ Вт} \cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{нкм}^{-4}$$

$$C_2 = 1,43879 \cdot 10^4 \text{ нкм} \cdot \text{К}$$

$$M_{\vartheta T} = \int_0^{\infty} M(\lambda) d\lambda = \sigma T^4 \quad (3.31)$$

$$\sigma = 5,6697 \cdot 10^{-12} \text{ Вт} \cdot \text{см}^{-2} \text{ К}^{-2}$$

$$M_{\vartheta T} = 5,6697 \cdot 10^{-12} \cdot (573)^4 = 0,611 \text{ Вт} \cdot \text{см}^{-2} \quad (3.32)$$

Значення спектральної енергетичної щільності для газів CH_4 , і CO на довжинах хвиль відповідно $\lambda_1 = 3,31$, $\lambda_2 = 4,67$ складають

$$M_{\vartheta T}^{\lambda_1} = 0,048 \text{ Вт} \cdot \text{см}^{-2}$$

$$M_{\vartheta T}^{\lambda_2} = 0,078 \text{ Вт} \cdot \text{см}^{-2}$$

Спектральна чутливість приймача випромінювання на цих довжинах хвиль має такі значення

$$S_{\lambda_1} = 0,86, S_{\lambda_2} = 0,84$$

Необхідно реєструвати компоненти з наступним процентним змістом:

$$C_{CH_4} = 2,06\%, C_{CO} = 0,106\%$$

Значення потоків випромінювання Φ_0 для кожного з видів визначається таким чином. Для виділення необхідного спектрального діапазону використовуються інтерференційні фільтри із смугою пропускання

в середньому 0,1 мкм, тому зі всього випромінюваного джерелом потоку пропускається лише частина випромінюваної потужності.

Маючи криві спектрів випромінювання джерел, можна визначити значення потоків в необхідних вузьких спектральних інтервалах, використовуючи методи інтеграції табличний заданих функцій.

Тоді значення Φ_0 будуть такими $\Phi_{0CH_4} = 7,86$ мкВт, $\Phi_{0CO} = 0,5$ мкВт.

Таким чином, розрахункові значення мінімальної довжини кювети $CH_4 : l_{\min} = 19,61$ см, $CO : l_{\min} = 37,16$ см

Порогова чутливість визначається виразом:

$$C_{\text{нор}} = \frac{10^{-3} \cdot b}{K \cdot L}, \quad (3.33)$$

де $b=4$.

Тоді, підставляючи $L=l_{\min}$, отримаємо $CH_4 : C_{\text{нор}} = 0,29 \cdot 10^{-3}$ об %,

$CO : C_{\text{нор}} = 0,24 \cdot 10^{-4}$ об %

Відповідно значення вихідних сигналів наступні $CH_4 : U_s = 31$ мкВ,

$CO : U_s = 0,5$ мкВ, що говорить про необхідність внесення змін в умови

проведення вимірювань і проведення заходів щодо зменшення шумів приладу.

3.5 Сумарна похибка газоаналізатору і аналіз методів її зменшення

Загальна похибка виражається сумою похибок всіх функціональних вузлів, що входять до пристрою.

Тобто, враховуючи вищенаведені вирази, сумарна похибка буде визначатися як:

$$\Delta_{\Sigma} = \left(\frac{\Delta \delta}{\delta} \right)^2 + \left(\frac{\Delta \ell}{\ell} \right)^2 + \left(\frac{\Delta K}{K} \right)^2 + \left(\frac{\Delta i}{i} \right)^2 + \left(\frac{\Delta(\Delta Q)}{N} \right)^2, \quad (3.34)$$

де $\left(\frac{\Delta\delta}{\delta}\right)^2 = \beta^2\left(\frac{\Delta P_\ell}{P_\ell}\right) + \gamma^2\left(\frac{\Delta T}{T}\right)$ - похибка, обумовлена відносною зміною

коефіцієнта поглинання, викликаного нестабільністю тиску і температури;

$\left(\frac{\Delta\ell}{\ell}\right)^2 = \left(\frac{\Delta\ell_u}{\ell}\right)^2 + \left(\frac{\Delta\ell_T}{\ell}\right)^2 + \left(\frac{\Delta\ell_n}{\ell}\right)^2$ - похибка, обумовлена зміною ходу

променя в кюветі, температурним розширенням і довжиною променя поза кюветою;

$\left(\frac{\Delta K}{K}\right)^2 = \left(\frac{\Delta\nu}{\pi\delta}\right)^2$ - похибка, обумовлена незбіганням центрів

спектрального випромінювання і відрізання смуги поглинання;

$\left(\frac{\Delta i}{i}\right)^2 = \left(\frac{\Delta S_{n,i}}{S_{n,i}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta P}{P}\right)^2$ - похибка, обумовлена зміною чутливості

приймача випромінювання і потужності, що випромінюється джерелом;

$\left(\frac{\Delta(\Delta Q)}{N}\right)^2$ - похибка, що виникає в наслідок неузгодження

вимірювального і еталонного каналів.

Зменшення похибки, що викликає зміну напівширини лінії в наслідок коливань температури і тиску, можливо шляхом стабілізації параметрів проби аналізованої суміші, що відбирається для проведення вимірювання. Проте це не завжди можливо і пов'язаний з пристроями і принципами роботи проектного пристрою. В цьому випадку доцільним буде ввести вирішальний пристрій (мікропроцесор), забезпечити прилад датчиками температури і тиску, а якщо це не представляється можливим, внести до пристрою, що запам'ятовує, значення поправок і в процесі експлуатації вводити необхідне значення для забезпечення правильних розрахунків і визначення концентрації певних компонентів суміші.

Зменшення похибки, викликане зміною ходу променя, можливо декількома шляхами. Це, перш за все, посилювання допусків на виробництво вузла кювети і що примикають до нього інших функціональних вузлів.

Іншим шляхом може бути спосіб стабілізації вузла кювети по температурі і тиску. Цей захід також буде пов'язаний з ускладненням пристрою і спричинить додаткові витрати. До того ж це не доцільно, враховуючи специфічні завдання проектування.

Похибку, обумовлену незбіганням центрів випромінювання і поглинання, також можливо усунути деякими шляхами. В першу чергу необхідно стабілізувати умови роботи джерела випромінювання, оскільки зміну спектральній кривій випромінювання ведуть до зменшення інтенсивності випромінювання в смузі аналізу і, далі до похибки реєстрованої приймачем потужності. Крім того, під впливом температури, тиск, вологості можуть змінюватися характеристики елементу фільтрації, який виділяє необхідну ділянку спектру для аналізу. Тобто, виникає необхідність проводити стабілізацію параметрів і цього елементу.

Що стосується пристроїв реєстрації потужності, а саме, приймача випромінювання, то для підтримки на одному рівні чутливості приймача необхідно застосувати пристрій стабілізації напруга живлення приймача, а також термостабілізації його.

Забезпечити зменшення похибки, що виникає унаслідок неузгодженості вимірювального і еталонного каналів, слідує зміною структурних схем ГА, в яких використовується одне джерело випромінювання і загальний для двох (або декілька) каналів приймач випромінювання. Крім того слід уважно вибирати спектральні діапазони різних каналів для того, щоб забезпечити максимальну вибірковість вимірювань.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 3

У розділі було обґрунтовано та розроблено схемне рішення газоаналізатору для контролю виходу метану в біоенергетичному виробництві. Було проведено вибір робочого діапазону аналізатору метану.

Розроблено загальну схему оптико-абсорбційного газоаналізатора метану. Для проектування газоаналізатору контролю виходу метану у біоенергетичному виробництві було вибрано 2-канальну різницеву схему порівняння сигналів вимірювальної інформації на виході зразкового та основного вимірювального каналів.

Проведено вибір вузлів вимірювача концентрації метану у виході біоенергетичного виробництва та розраховано характеристики кюветного відділення. Розраховано значення потоку випромінювання що сприймається первинним вимірювальним перетворювачем та функцію перетворення вимірювального засобу. Оцінено значення вихідного сигналу первинного піроелектричного приймача МГ-30.

Оцінено сумарну похибку газоаналізатору та методи її зменшення. Яка воно складає

РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЕКТУ «КОНТРОЛЬ ВИХОДУ МЕТАНУ В БІОЕНЕРГЕТИЧНОМУ ВИРОБНИЦТВІ»

Метан, що є головним енергетичним компонентом біогазу, широко поширений в екосистемі планети.

Природні гази містять до 90-97 % метану за об'ємом. Важливим є використання засобів об'єктивного контролю виходу метану у біоенергетичному виробництві. Найбільш чисельну групу методів аналізу газових компонентів складають спектральні методи, що відрізняються не тільки різноманіттям, але і широким застосуванням для аналізу газоподібних і рідких речовин. Для забезпечення контролю концентрації метану у біоенергетичному виробництві пропонується газоаналізатор вибраного схемного рішення що базується на ІЧоптико-адсорбційному методів вимірювань.

4.1 Опис ідеї проекту

Метан, що є головним енергетичним компонентом біогазу, широко поширений в екосистемі планети. Природні гази містять до 90-97 % метану за об'ємом. Газ метан є основним компонентом «рудних газів» що нагромаджуються у вугільних шахтах, під час гірничих робіт. Він виділяється внаслідок видалення вугільних пластів та супутніх порід, де може знаходитися у вільному або зв'язаному стані. Метан є основним компонент супутніх нафтових (до 90 % за об'ємом) та болотного газів.

В цьому розділі буде проведено аналіз стартап проекту що має на меті визначити чи є продукт конкурентноспроможним із іншими продуктами які вже зайняли свою нішу на ринку. Ідея проекту полягає контроль виходу метану в біоенергетичному виробництві, що уточнено наведено в табл. 4.1.

У таблиці 4.1 зображено зміст ідеї та можливі базові потенційні ринки, в межах яких потрібно шукати групи потенційних клієнтів.

Таблиця 4.1 - Опис ідеї стартап проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Розробка приладу для контроль виходу метану в біоенергетичному виробництві	Контроль виходу метану в біоенергетичному виробництві з підвищеною точністю й чутливістю.	Забезпечити більшу точність результатів вимірів.
	Повірка газоаналізатора виконуватись із застосуванням стандартних зразків складу повірочних газових сумішей і генераторів повірочних газових сумішей.	Забезпечити більшу точність результатів вимірів.
	Винахід відноситься до вимірювальної техніки, призначений для контроль виходу газів у промисловості	Багато функціональний прилад

Отже, пропонується новий спосіб контроль виходу метану в біоенергетичному виробництві що забезпечить більшу точність й чутливість, що надасть користувачу актуальну інформацію.

Далі проводимо аналіз потенційних техніко-економічних переваг ідеї порівняно із пропозиціями конкурентів:

- визначаємо перелік техніко-економічних властивостей та характеристик ідеї;
- визначаємо попереднє коло конкурентів (проектів-конкурентів) або товарів-замінників чи товарів-аналогів, що вже існують на ринку, та проводимо збір інформації щодо значень техніко-економічних показників для ідеї власного проекту та проектів-конкурентів відповідно до визначеного вище переліку;
- проводимо порівняльний аналіз показників: для власної ідеї визначено показники, що мають а) гірші значення (W, слабкі); б) аналогічні (N, нейтральні) значення; в) кращі значення (S, сильні) (табл. 4.2).

Таблиця 4.2 - Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

№ п/ п	Техніко- економічні характерис- тики ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів				W (слабка сторона)	N (нейтра- льна сторона)	S (сильна сторона)
		Мій проект	Конку- рент1 642ХЛ01	Конку- рент2 ФП33	Конку- рент3 306АС 01			
1.	Вартість приладу, грн	3500	4000	3700	5000	-	-	+
2.	Швидкість встановлення	5	14	21	15	-	-	+
3.	Вартість обслугову- вання	1000	5400	2960	4560	-	-	+
4.	Максимальна маса	До 10 кг	До 15 кг	До 20 кг	До 15 кг			+
5.	Відсоток браку	2	1	2	1	-	+	-
6.	Затрати на виробництво	Середні	Середні	Високі	Середні	-	-	+
7.	Відносини з органами державної влади	Добрі	Добрі	Добрі	Добрі	-	+	-
8.	Торгова марка	Немає	Є	Є	Є	+	-	-

Висновок, після порівняння характеристик проекту з головними конкурентами був визначений перелік слабких, сильних та нейтральних характеристик і властивостей ідеї потенційного товару, що є підґрунтям для формування його конкурентоспроможності, порівнявши свій проект з конкурентами автоматичний аналізатор 642ХЛ01, аналітичний спектральний комплекс 306 АС 01, газоаналізатор ФП33 було проаналізовано перелік слабких, сильних та нейтральних характеристик та властивостей ідей потенційного товару що є підґрунтям для формування його конкурентоспроможності.

В межах даного підрозділу проводимо аудит технології (метод вимірювання), за допомогою якої можна реалізувати ідею створення проекту.

Визначення технологічної здійсненності ідеї проекту передбачає аналіз складових які вказані в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 - Технологічна здійсненність ідеї проекту

№ п/п	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1.	Розробка приладу контроль виходу метану в біоенергетичному виробництві	Розробка приладу для виходу метану в біоенергетичному виробництві із застосуванням хроматографічного методу	У відкритому доступі	Доступний
		Розробка приладу для виходу метану в біоенергетичному виробництві із застосуванням оптико-акустичний метод	У відкритому доступі	Доступний
		Розробка приладу для виходу метану в біоенергетичному виробництві із застосуванням оптико-абсорбційного методу	У відкритому доступі	Доступний
Обрана технологія реалізації ідеї проекту: розробка приладу для виходу метану в біоенергетичному виробництві із застосуванням оптико-абсорбційного методу				

Висновок, проаналізувавши таблицю можна зробити висновок що мій проект розробки приладу контроль виходу метану в біоенергетичному виробництві міг бути в реалізований багатьма методами, але серед доступних було обрано метод оптико-абсорбційний, даний метод допоможе реалізувати іде. Щоб вийти на ринок і виділятися від конкурентів потрібно розширити сертифікацію, сферу використання та подальший прибуток.

4.2 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап проекту

Визначимо ринкові можливості, які можна використати під час ринкового впровадження проекту, та ринкові загрози, які можуть перешкодити його реалізації.

Це дозволяє спланувати напрями розвитку проекту із урахуванням стану ринкового середовища, потреб потенційних клієнтів та пропозицій проектів-конкурентів.

Спочатку проведемо аналіз попиту: наявність попиту, обсяг, динаміка розвитку ринку (таблиця 4.4).

Таблиця 4.4 - Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№ п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	3
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	35000 (3500*10)
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Патентування продукту, середня конкуренція, високий показник якості обслуговування.
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	ДСТУ EN 61010-2-033:2017 ДСТУ EN 61010-2-201:2017
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	89%

Висновок, за результатами аналізу таблиці можна зробити висновок що ринок є привабливим для входження за попереднім оцінюванням. За попереднім оцінюванням ринок має зростаючу динаміку і хороший попит на запропонований нами продукт, тому робим висновок, що ринок є привабливим для входження, хоча на ньому вже існують і іноземні фірми, які працюють багато років і роблять продукцію хорошої якості, але за рахунок нової технології і переваг, які вона надає продукт є конкурентоспроможним. Високий процент рентабельності дає змогу швидко відбити затратені кошти на розробку системи.

Надалі визначаємо потенційні групи клієнтів, їх характеристики, та формуємо орієнтовний перелік вимог до товару для кожної групи (табл. 4.5).

Таблиця 4.5 - Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1.	Швидкодія, точність експертизи метану у біоенергетичному виробництві	Використано для контролю за вмістом газів в різних підприємствах, заводах Підприємства різних форм власності	Особисті технічні стандарти встановленні на підприємствах. Державні стандарти Технічна підтримка на певний період з можливістю продовжити.	-до продукції Зручні габарити пристрою. Надійне програмне забезпечення. Точність вимірів пристрою. Тривалий термін експлуатації. Здатність до проведення експрес аналізу. Безперебійна робота приладу. Зрозуміле управління приладом. Великий термін експлуатації. -до компанії постачальника Зворотній зв'язок між компанією та покупцем для консультації та ліквідації технічних проблем пристрою. Первична демонстрація роботи пристрою що буде виконувати роль інструктажу

Висновок, формування ринку визначається потребою швидкого і точного вимірювання прискорення у реальному часі та подальший аналіз даних, актуальність контролю метану в біоенергетичному виробництві все більш зростає.

При застосуванні даної технології існують певні загрози. (таблиця 4.6).

Таблиця 4.6 - Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1.	Конкуренція	Можливість появи на ринку іноземних аналогів з кращими характеристиками і нижчою ціною.	Вивчення продукції конкурентів та вдосконалення своєї, для задоволення всіх потреб користувачів.
2.	Інфляція	Зміна курсу гривні, за рахунок чого можуть зменшитися продажі	Реалізація продукту в більш стабільній (іноземній) валюті та моніторинг економічної ситуації в країні
3.	Якість	Не належна якість зібраного приладу	Відмова від продукту
4.	Світова криза	Може вплинути на коло потенційних покупців.	Пошук нових клієнтів на міжнародному ринку
5.	Постачання	Проблема з фірмами постачальниками	Зміна політики розповсюдження продукту
6.	Технічний	Збій в роботі пристрою	Створення кваліфікованої групи технічної підтримки та надання інструкції по експлуатації при придбанні товару.

Висновок, наявність певних загроз реалізації продукції дозволить нам вчасно вдосконалювати прилад та завжди бути в курсі всіх наукових новинок та економічної ситуації в країні. Окрім певних загроз, ми маємо ряд переваг та можливостей. Але поряд із колом загроз існують і певні можливості (таблиця 4.7).

Таблиця 4.7 - Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1.	Науково-технічні	Зміниться технологія виготовлення товару.	Впровадження більш економічно вигідних методів, що дозволять зменшити собівартість приладу.
2.	Попит	Збільшення попиту на товар.	Підвищення кількості продажів а відповідно і прибутку.
3.	Економічні	Політика протекціонізму; підтримка інноваційного виробництва.	Зміна податкового тиску
4.	Політико-правові	Може вплинути на купівлю/продаж товару.	Знаходження нових напрямків реалізації за кордоном.
5.	Екологія	Підвищення кількості людей зацікавлених в якості олійних товарів	Розповсюдження реклами на свій пристрій що допоможе знайти нових клієнтів.

Висновок, окрім певних загроз, ми маємо ряд переваг та можливостей. в таблиці 4.7 було визначено фактори можливостей які сприяють ринковому впровадженню нашого продукту та вигоди які компанія може отримати відповідно від реакції на той чи інший фактор.

Проаналізувавши загрози було проведено ступеневий аналіз конкуренції на ринку(табл. 4.8.).

Таблиця 4.8 - Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
Тип конкуренції	Олігополія	Ведення переговорів з іншими олігополістами для отримання взаємної вигоди
Рівень конкурентної боротьби	Національний	Покращення пристрою та пошук шляхів на міжнародний ринок
За галузевою ознакою	Міжгалузева	Розширення ринку за рахунок збільшення попиту
Конкуренція за видом товарів	Товарно-видова	Вдосконалення та реклама для показу переваг
За характером конкурентних переваг	Нецінова	Вдосконалення свого продукту і при цьому невелике зменшення цін відносно конкурентів
За інтенсивністю	Не марочна	Розробка бренду і його активна реклама

Висновок, розроблюваний продукт має тип конкуренції олігополія що дозволяє отримати взаємовигоду, рівень конкуренції є національний, товарно видова конкуренція.

Після аналізу конкуренції проведемо більш детальний аналіз умов конкуренції в галузі(табл. 4.9.).

Таблиця 4.9 - Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
Складові аналізу	На ринку існує 3 прямі конкуренти, що виготовляють дане обладнання	Потенційними конкурентами є іноземні компанії які згодом можуть вийти на наш ринок. Патенти на продукти. Законодавчі обмеження. Гнучкі ціни.	Постачальниками є компетентні інтернет магазини Диференціація витрат. Концентрація постачальників Значення розміру поставок	Основними клієнтами є установи та підприємства.	Позиції компанії в данному випадку суттєві адже подібні за характеристиками аналоги практично відсутні
Висновки:	Слідкувати за пропозиціями конкурентів, та працювати над зменшенням витрат на виробництво.	Висока вірогідність появи нових гравців на ринку адже вхідні бар'єри є не дуже високими. Потенційних конкурентів немає	Наявність високої кількості постачальників не дає їм змогу контролювати умови роботи на ринку.	Розробка нових пропозицій для клієнтів та зменшення ціни дозволить задовільнити потреби покупців.	Зайняти стабільну позицію на ринку та конкурентну перевагу, розроблювати нові види товарів

Висновок, після завершення аналізу факторів робимо прогноз щодо конкурентоспроможності. Точна оцінка конкурентоспроможності можлива лише після впровадження приладу, тому робимо лише попередню оцінку конкурентоспроможності.

Після всіх аналізів визначається та обґрунтовується перелік факторів конкурентоспроможності (табл. 4.10.- 4.11.).

Таблиця 4.10 - Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
1.	Ціна	Підтримка зворотного зв'язку з клієнтами, усунення виникнутих проблем при роботі, вдосконалення приладу, а відповідно збільшення попиту на продукт, що в результаті дозволить знизити ціну.
2.	Велика кількість постачальників	Наявність приладу та своєчасна доставка продукту клієнту.
3.	Висока якість	Висока якість і точність приладу, яка дозволяє клієнту отримувати максимально точний результат вимірювань.
4.	Технічна підтримка	Наявність досвідчених спеціалістів, які зможуть швидко вирішити будь яку проблему в роботі приладу.
5.	Наявність патентів	Наявність патенту на приладу, це дає споживачу упевненість в тому що він купує сертифікований продукт

Висновок, в таблиці 4.10 на основі аналізу проведеного в таблиці 4.9 визначили та обґрунтували фактори конкурентоспроможності нашого проекту. Оцінено основні фактори конкурентоспроможності.

Таблиця 4.11 - Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін «DUST_METER»

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з моїм приладом						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1	Наявність патентів	16	+						
2	Велика кількість постачальників	15				+			
3	Висока якість	17	+						
4	Технічна підтримка	19	+						
5.	Ціна	14						+	

Висновок, з таблиць 4.10 та 4.11 бачимо, що фактори конкурентоспроможності суттєві та мають великий позитивний внесок при впровадженні нового програмного забезпечення для розрахунку концентрації метану.

Основною перевагою та головним досягненням є висока якість продукту та технічна підтримка на протязі всього терміну його використання споживачем(таб. 4.12).

Таблиця 4.12 - SWOT- аналіз стартап-проекту

<p>Сильні сторони:</p> <p>Швидкість встановлення</p> <p>Вартість обслуговування</p> <p>Технічна підтримка</p> <p>Маса приладу</p> <p>Висока якість</p> <p>Новітні технології</p> <p>Екологія</p> <p>Попит</p>	<p>Слабкі сторони:</p> <p>Вартість приладу</p> <p>Затрати на виробництво</p> <p>Торгова марка</p> <p>Велика кількість постачальників</p> <p>Інфляція</p> <p>Політично правові</p> <p>Економічні</p>
<p>Можливості:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Збільшення продаж; 2. Отримання державних замовлень на отримання послуг; 3. Розширення ринку за рахунок іноземних замовників; 4. Зменшення податкового тиску, отримання тендерів на послуги. 5. Збільшення потенційних клієнтів через технічну підтримку. 	<p>Загрози:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Цінова конкуренція в зв'язку з появою нових гравців на ринку. 2. Різка зміна курсу гривні може привести до зменшення попиту, особливо з боку малих фірм. 3. Політичні та економічні ризики ведення бізнесу; 4. Зменшення продажів через несвоєчасне виконання замовлень.

Висновок, на основі SWOT-аналізу розробляємо альтернативи ринкової для виведення стартап-проекту на ринок та орієнтовний оптимальний час їх ринкової реалізації з огляду на потенційні проекти конкурентів, що можуть бути виведені на ринок. Визначені альтернативи аналізуються з точки зору строків та ймовірності отримання ресурсів.

Визначені альтернативи аналізуються з точки зору строків та ймовірності отримання ресурсів (табл. 4.13).

Таблиця 4.13 - Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

№ п/п	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1.	Стратегія нейтралізації ринкових загроз сильними сторонами стартапу	Висока	1 рік
2.	Стратегія компенсації слабких сторін стартапу наявними ринковими можливостями	Висока	1 рік
3.	Стратегія виходу з ринку	Низька	

Висновок, з зазначених альтернатив обираємо стратегію компенсації слабких сторін стартапу наявними ринковими можливостями.

4.3 Розроблення ринкової стратегії проекту

Розроблення ринкової стратегії першим кроком передбачає визначення стратегії охоплення ринку: опис цільових груп потенційних споживачів (табл. 4.14).

Таблиця 4.14 - Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1.	Промислові компанії	Середня	Залежить від рівня та темпу економічного розвитку в цілому та розвитку контроль виходу метану в біоенергетичному виробництві	Середня	Середній бар'єр потрапляння на ринок
2.	Державні лабораторії контролю за якістю.			Середня	Середній бар'єр потрапляння на ринок
3.	Провідні інститути			Середня	Середній бар'єр потрапляння на ринок
Які цільові групи обрано: під час вибору цільової групи до уваги бралось в першу чергу готовність споживача сприйняти продукт, й було прийнято рішення що компанія буде працювати із промисловими компаніями.					

Висновок, за результатами аналізу потенційних груп споживачів ми обрали цільові групи, для яких будемо пропонувати свій прилад та визначили стратегію охоплення ринку: стратегію диференційованого маркетингу, тому що працюємо із конкретним сегментом, розробляючи для нього програму ринкового впливу.

Для роботи в обраному сегменті ринку необхідно сформувати базову стратегію розвитку (табл. 4.15).

Таблиця 4.15 - Визначення базової стратегії розвитку

№ п/п	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку*
1.	Підсилення сильних сторін стартапу за рахунок ринкових можливостей	Диференційований маркетинг	Якісний продукт, до якого прихильні споживачі, постійний зворотній зв'язок з клієнтами.	Стратегія диференціації

Висновок, пропонований вимірювальний засіб та методика його застосування відповідає вимогам. Пропонується цілодобова технічна підтримка покупців вимірювального засобу. Розроблено технологічну карту на застосування даного виробу. Вимірювальний засіб має значну цінову перевагу та достатній потенціал модернізації порівняно із аналогами присутніми на ринку.

Наступним кроком є вибір стратегії конкурентної поведінки (табл. 4.16).

Таблиця 4.16 - Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№ п/п	Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки*
1.	Ні	Передбачається розвиток ринку	Ні, не буде. Буде створено унікальну продукцію	Зайняття конкурентної ніші

Висновок, на основі вимог споживачів з обраного сегменту до постачальника і продукту, а також в залежності від стратегії розвитку та стратегії конкурентної поведінки розробляємо стратегію позиціонування яка визначається у формування ринкової позиції, за яким споживачі мають ідентифікувати проект.

Наступним кроком є вибір стратегії позиціонування (табл. 4.17).

Таблиця 4.17 - Визначення стратегії позиціонування

№ п / п	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту (три ключових)
1.	Вдосконалення продукту враховуючи побажання споживачів	Стратегія дифере-нції	Висока якість продукту. Формування лояльності і прихильності споживачів, підтримка вхідних бар'єрів.	Якість. Ціна. Зворотній зв'язок із виробником. Технічна підтримка. Удосконалення вимірювача відповідно до побажань конкретного клієнту
2.	Первинне калібрування продукту			

Висновок, результатом даного підрозділу є система рішень щодо ринкової поведінки компанії, вона визначає в якому напрямі буде працювати компанія на ринку

4.4 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Під час розроблення маркетингової програми першим кроком є розробка маркетингової концепції товару, який отримає споживач. У таблиці 4.18 підсумовуємо результати аналізу конкурентоспроможності товару.

Таблиця 4.18 - Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
1.	Потреба контроль виходу метану в біоенергетичному виробництві	Отримання результатів про вихід метану біоенергетичному виробництві	Постійна технічна підтримка. Безперебійна робота приладу.

Висновок, таким чином, головними перевагами пропонованого проекту є приваблива ціна порівняно із аналогами присутніми на ринку, високий рівень технічної підтримки, забезпечення безперебійної роботи приладу.

Надалі розробляється трирівнева маркетингова модель товару: уточнюється ідея продукту та/або послуги, його фізичні складові, особливості процесу його надання (табл. 4.19).

Таблиця 4.19 - Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові		
I. Товар за задумом	Створення приладу для контролю виходу метану в біоенергетичному виробництві використано оптично-адсорбційний метод. Можна виділити наступні вигоди використання: <ul style="list-style-type: none">- Максимально точне вимірювання.- Потужність споживання має бути мінімальною.- Діапазон вимірювання концентрації метану становить 0-100% об.- Прилад портативний й ремонтпридатний виріб		
II. Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики	М/Нм	Вр/Тх /Тл/Е/Ор
	1. Довговічність (немає строку давності)	Нм	Тх
	2. Гарантійний термін (довгий термін гарантійного обслуговування)	Нм	Е
	3. Досконалість виробничого виконання (Ергономічний дизайн)	Нм	Тл
	4. Вартість обслуговування (Низька вартість обслуговування)	Нм	Вр
	Якість: відповідає нормам ДСТУ ГОСТ 3320:2008Газоанализаторы промышленные автоматические. Общие технические условия		
Пакування: програмне забезпечення записане на компакт диск.			
Марка: відсутня			
III. Товар із підкріпленням	До продажу: до продажу користувач може запросити до себе спеціаліста та протестувати прилад, провівши на ньому ряд необхідних досліджень протягом одного робочого дня		
	Після продажу один раз в квартал клієнта буду відвідувати спеціаліст для налаштування, калібровки, усунення несправностей, та неточностей у роботі приладу.		
За рахунок чого потенційний товар буде захищено від копіювання: буде захищено шляхом патентування коду (отримання сертифікату про інтелектуальну власність) та надання кожній проданій копію електронний ключ для активації який необхідно вводити при запуску приладу.			

Висновок, наступним кроком є визначення цінових меж, якими необхідно керуватися при встановленні ціни на потенційний товар, це

передбачає аналіз цін товарів конкурентів, та доходів споживачів продукту (табл. 4.20).

Таблиця 4.20 - Визначення меж встановлення ціни

№ п/п	Рівень цін на товари-замінники	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
1.	3700-5000 грн.	3700-5000 грн.	15000-20000 грн.	3000-4500 грн.

Висновок, в таблиці проаналізовано ринкові ціни на товари-аналоги та товари-замінники, а також середній рівень доходів споживачів. За отриманими даними було вибрано середню цінову категорію, оскільки занадто висока ціна буде відлякувати споживачів.

Наступним кроком є визначення оптимальної системи збуту, в межах якого приймається рішення (табл. 4.21).

Таблиця 4.21 - Формування системи збуту

№ п/п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
1.	Покупка товару один раз (з продовженням терміну експлуатації програмного забезпечення)	Доставка товару покупцю, його встановлення та налаштування.	Канал збуту нульового рівня	Мережа інтернет

Висновок, для зменшення прямих витрат при формуванні системи збуту зразків вимірювального обладнання планується залучення ресурсів мережі інтернет власними силами конструкторського колективу – виробника вимірювального засобу. Для інтенсифікації продаж планується безпосередня комунікація замовника із конструкторським колективом.

Наступним етапом є розроблення концепції маркетингових комунікацій, що спирається на попередньо обрану основу для позиціонування, визначену специфіку поведінки клієнтів (табл.4.22).

Таблиця 4.22 - Концепція маркетингових комунікацій

№ п/п	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
1.	Необхідність контролю концентрації метану у виході біоенергетичного виробництві	Мережа інтернет, виставки, семінари, друкована продукція.	Профільні сайти мережі інтернет SEO оптимізація рекламної інформації Відгуки та рекламації клієнтів на власних сайтах	Проінформувати клієнта про те, що за допомогою приладу стає можливим максимально точно визначення концентрацію метану	Очисти планету від відходів!?
2.	Зменшення витрат на експлуатаційне обслуговування			Надати клієнту інформацію про можливість індивідуального налаштування та калібрування вимірювального засобу.	Зрежи планету! Вісне прилад? – Тоді використай наш! Біоенергія -це круто!

Висновок, результатом даного підпункту є ринкова програма яка включає концепцію збуту, просування, аналіз ціноутворення, вона залежить від цінностей та потреб потенційних клієнтів, переваги ідеї, стану ринку на якому буде впроваджено проект на даний момент та його динаміку, та відповідну обрану альтернативу поведінки на ринку.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 4

Узагальнюючи проведений аналіз стартап проекту можна зробити висновок що стартап проект «Контроль виходу метану в біоенергетичному виробництві» буде цікавий потенційним клієнтам і має хорошу можливість ринкової комерціалізації. У зв'язку з хорошою динамікою ринку на розроблений продукт буде хороший попит у споживачів, і з точки зору рентабельності проект обіцяє бути дуже прибутковим. З огляду на потенційні групи клієнтів перспективи впровадження проекту є дуже високими.

Але за рахунок того, що на ринку вже є присутні аналоги продукту який розробляється бар'єр входження на ринок є досить високим. Тому для успішного виходу на нього треба надати нашому продукту властивостей які будуть виділяти його серед конкурентів. На даний момент продукт є конкурентоспроможним але для підвищення довіри споживачів і формування своєї бази клієнтів необхідно:

Проаналізувавши ринкову модель виробництва та реалізації розробленого у рамках наших досліджень вимірювача, можна судити про те, що в теперішньому вигляді наш продукт має значні цінові переваги, але мінливість ринку змушує нас працювати над його покращенням а саме:

1. Надання якісного сервісу підтримки з технічних питань нашим клієнтам, що позитивно вплине не тільки на імідж компанії а й на майбутніх покупців що завдяки нашому ставленню закріплять нас на ринку товарів даної галузі.
2. Покращити розроблений метод контролю метану у біоенергетичному виробництві, що призведе до підвищення конкурентоспроможності. Так як наш проект не відомий на ринку потрібно зайнятися його рекламною кампанією серед потенційних покупців.
3. Проведення публічної презентації результатів проекту серед цільової групи користувачів, та широкого кола науковців на профільних заходах.

4. Провести дієву рекламну компанію за допомогою електронних та друкованих профільних для галузі застосування засобу вимірювань видань, для зацікавлення продуктом потенційних користувачів.
5. Надати можливість проведення тестових вимірювань приладом на протязі серії робочих днів з можливістю залучення сторонніх фахівців для навчання персоналу замовника.
6. До моменту розроблення нами власної торгівельної та транспортної мережі доцільно буде використовувати мережу інтернет для реклами та прийому замовлень на вимірювач, розроблений в рамках нашого стартап проекту, що дасть клієнтам можливість знайти про нас необхідну інформацію та дасть нам змогу заявити про себе на українському та міжнародному ринках.

Враховуючи мілкосерійне виробництво вимірювального засобу (до 10 од. в рік) для ринкової реалізації проекту можна обрати початок продаж нашого продукту в мережі інтернет для одного сегменту ринку. Після закріплення на ринку доцільно починати шукати клієнтів в інших сегментах та розширювати канали збуту.

ВИСНОВКИ

У ході виконання магістерської дисертації було:

1. Аналізовано технологій отримання біогазу в біоенергетичному виробництві. Проведено класифікацію альтернативних джерел енергії, обґрунтовано перспективи розвитку біоенергетичної галузі в Україні. Розглянуто механізми отримання енергії із різних видів біомаси.

2. Охарактеризовано метан як об'єкту аналізу у виході біоенергетичного виробництва. Обґрунтування фактори контролю якісних показників біогазу: характеристик і умов методів отримання енергії та продукту що утворюється.

3. Розглянуто методи та засобів контролю концентрації метану в технології виробництва біогазу. Для знаходження концентрації метану у промисловості та лабораторній практиці застосовують засоби що ґрунтуються на електрохімічних, оптичних, акустичних, теплових, магнітних та інших методах вимірювань.

4. Проведено огляд схемних рішень аналогів та виділено їх переваги та недоліки. Розроблено технічні критерії вибору структури вимірювача. Вибрано оптико-адсорбційний метод вимірювання концентрації метану у виході біоенергетичного виробництва в ближній ІЧ області довжин хвиль випромінювання.

5. Для проектування газоаналізатору контролю виходу метану у біоенергетичному виробництві було вибрано 2-канальну різницеву схему порівняння сигналів вимірювальної інформації на виході зразкового та основного вимірювального каналів.

5. Вибрано діапазон вимірювань по довжинам хвиль випромінювання. Метан має два максимуми спектра поглинання, які знаходяться на довжинах хвиль $\lambda_1 = 3,3$ мкм; $\lambda_2 = 7,5$ мкм. Аналізуючи спектр вибираємо смугу поглинання в заданому діапазоні ($\lambda_n \dots \lambda_b$). $\lambda_n = 3,0$ мкм; $\lambda_b = 3,5$ мкм.

6. Проведено вибір первинного вимірювального перетворювача газоаналізатору та розраховано параметри кюветного відділення. Для матеріалу кювети вибрано синтетичний корунд. Пропускання корунду у вказаному діапазоні $\Delta\lambda_{3,0-3,5\text{ мкм}}$ складає 84%. У якості джерела випромінювання застосовано ІЧ-діод, поміщений в корпус з параболічною поверхнею.

7. Розраховано значення потоку випромінювання на вході фотодетектору та функцію перетворення. Мінімальне значення порогової концентрації метану в аналізованій газовій суміші, яку здатний виміряти піроелектричний детектор МГ-30 складає $C_{\text{пор}} = 2,9 \cdot 10^{-2} \text{ об } \%$.

8. Оцінено сумарну похибку газоаналізатору вибраного схемного рішення та проведено аналіз методів її зменшення. Для підтримки на одному рівні чутливості приймача необхідно застосувати пристрій стабілізації напруги живлення приймача, а також його термостабілізацію. Таким чином можна усунути похибку, обумовлену незбіганням центрів випромінювання і поглинання та викликану зміною ходу променя в оптичній системі вимірювача.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Альперин В.З. и др. Современные электрохимические методы и аппаратура для анализа газов в жидкостях и газовых смесях. М.: - Химия, 1987, - 183с.
2. Артемчук В.І. Контроль виходу метану у біоенергетичному виробництві / О. В. ДОВГА, В. В. ЮНИК // Вісник Хмельницького національного університету, серія «Технічні науки». – 2020. – №5. – С.7-13.
3. Защепкіна Н.М. Актуальність біоенергетичного виробництва метану в Україні / В.І. Артемчук, В.В. Юник, О.А. Осипенко // Матеріали XVI Всеукраїнської науково-практичної конференції «Ефективність та автоматизація інженерних рішень у приладобудуванні», ПБФ, КПІ ім. Ігоря Сікорського, 08-09 грудня 2020 року., Київ, Україна, 2020. С.160-166.
4. Защепкіна Н.М. Вплив складу атмосфери на урожайність травянистих рослин / Матеріали XIII Науково-практична конференція «Погляд у майбутнє приладобудування» ПБФ, КПІ ім. Ігоря Сікорського, 13-14 травня 2020 року., Київ, Україна, 2020. С.168-170.
5. Артемчук В.І. Контроль запиленості повітря за допомогою мобільного додатку / Б.І. Мединцев // Матеріали XV Всеукраїнська науково-практична конференція «Ефективність інженерних рішень у приладобудуванні», ПБФ, КПІ ім. Ігоря Сікорського, 10-11 грудня 2019 року., Київ, Україна, 2019. С.238-240.
6. Альтернативна енергетика: навч. посіб. / М.Д. Мельничук, В.О. Дубровін, В.Г. Мироненко, І.П. Григорюк, В.М. Поліщук, Г.А. Голуб, В.С. Таргоня, С.В. Драгнєв, І.В. Свистунова, С.М. Кухарець. – К: «Аграр Медіа Груп», 2011. – 612 с.
7. Альтернативні джерела енергії/ Законодавство України [Електронний ресурс] – Режим доступу: http://search.ligazakon.ua/l_doc2.nsf/link1/TM050043.html

8. Аналіз шляхів модернізації перемішуючого пристрою біогазової установки/ Навчальні матеріали онлайн [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://essuir.sumdu.edu.ua/bitstream>
9. Аналізатор газів і рідин. // за ред. Ваня Я.О. – М: Енергія, 1970. – 552с.
10. Баадер В. Биогаз: теория и практика (пер. с нем. и предисловия М.И. Серебряного.) / В. Баадер, Е. Доне, М. Бренндерфер // М.: Колос, 1982. – 148 с.
11. Біогаз: навч. посіб. / Голуб Г.А., Дубровін В.О., Поліщук В.М., Сєра К.М., Марус О.А., Драгнєв С.В., Сидорчук О.В., Павленко М.Ю., Чуба В.В., Кухарець С.М., – ЮНІДО 2015 – 48 с.
12. Біопалива (технології, машини і обладнання) /В.О. Дубровін, М.О. Корчемний, І.П. Масло, О. Шептицький, А. Рожковський, З. Пасторек, А. Гжибек, П. Євич, Т. Амон, В.В. Криворучко – К.: ЦТІ «Енергетика і електрифікація», 2004. – 137 с.
13. Бреслер П.И. Оптические абсорбционные газоанализаторы и их применение – Л.: Энергия, 1980. – 164с.
14. Ваня Я. «Анализатор газов и жидкостей». М., Энергия, 1970 г., - 427с.
15. Гелетуха Г.Г., Железна Т.А. Сучасний стан та перспективи розвитку біоенергетики в Україні. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/60547> 2010р.
16. Глинка М.А. «Общая химия». М, Химия, 1985 г., - 688с.
17. Горелик Д.О., Конопелько Л.А., Панков Э.Д. Экологический мониторинг. Оптико-электронные приборы и системы. В 2-х томах. Санкт-Петербург.:Крисмас, 1998. - 592с.
18. ДСТУ 2708:2008 “Метрологія. Повірка ЗВТ”.
19. Заповитряный В.С., Коробейник А.В., Романов В.Ф. Двухкомпонентный инфракрасный газоанализатор // Современные методы и приборы анализа состава газовых и жидких сред: Сб. научн. трудов АО «Укрналит». – К.: 1995. – С. 147-156.

20. Иванов Я.А. Анализаторы газов и жидкости.- М.: Энергия, 1970.- 429 с.
21. К. Академперіодика Стратегія енергозбереження в Україні : аналіт.- довід. Матеріали за ред. В.А. Жовтянського, М.М. Кулика, Б.С. Стогнія. – 2006. – Т.1. – 510 с.
22. Комплекс з виробництва електроенергії з біогазу, отриманого шляхом анаеробного бродіння із відходів сільського господарства та тваринництва /Навчальні матеріали онлайн [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://eia.menr.gov.ua/uploads/documents/3157/reports/9581285db9cfb73e2ce7364706a11e29.pdf>
23. Марцинкевич В. Поводження з відходами тваринництва: переваги технології анаеробного зброджування / В. Марцинкевич, Н. Коломієць // К.: НЕЦУ, 2015. – 20 с.
24. Обработка сигналов: // за ред. Бабак В.П., Халдецкий В.С., Шрюфер Е. – К., Либідь, 1996. – 392с.
25. Оптико-электронные системы экологического мониторинга природной среды: Учебное пособие для вузов /В.И. Козинцев, В.М. Орлов, М.Л. Белов, и др.. Под ред. В.Н. Рождествина.-М.:Из-во МГТУ им.Баумана, 2002г. – 528с.;
26. Павленко В.А. «Газоанализаторы». М.-Л. Машиностроение, 1995., - 324с.
27. Панов В.А. справочник конструктора оптико-механических приборов. – Л.: Машиностроение. -1987. -425с.
28. Полупроводниковые фотоприемники: УФ, видимый и ближний ИК диапазон спектра/ Анисимова И.Д. – М.: Радио. 1984.-326с.
29. Похибки приладів і вимірів. // за ред. Сурикова Є.І., Л: «Машинобудування», 1975. – 155с
30. Прикладная инфракрасная спектрометрия: под ред. Д. Кендела. – М.: Мир, 1970. – 376с.

31. Реферативний журнал «Метрологія і вимірювання»: №1-12, 2013, 2014, 2015
32. Реферативний журнал «Приладобудування»: №1-12, 2012, 2013, 2014, 2015.
33. Смит А. Прикладная ИК-спектроскопия. – М.: Мир, 1982. – 328с.
34. Сучасні прилади і методи контролю складу і властивостей речовин: Видавництво «Знання» Київ 1972.
35. Точність вимірювальних приладів // за ред. Брацлавський Д.А., Петров В.В – М. Машинобудування , 1976 – 306с.
36. Fachagentur nachwachsende rohstoffe e.v.: Basisdaten bioenergie Deutschland. Bestell-Nr. 469, mediathek.fnr.de, FNR 2018 – 52 p.
37. Statistics. Total. [Електронний ресурс] // International Energy Agency. – 2012. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.iea.org/topics/renewables/>

ДОДАТОК А

Стаття «Контроль виходу метану в біоенергетичному виробництві»

ISSN 2307-5732

DOI 10.31891/2307-5732

НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ

5.2020

ВІСНИК**Хмельницького
національного
університету****Технічні науки**

Technical sciences

SCIENTIFIC JOURNAL

HERALD OF KHMELNYTSKYI NATIONAL UNIVERSITY

2020, Issue 5, Volume 289

Хмельницький

**ВІСНИК
ХМЕЛЬНИЦЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
серія: Технічні науки**

Затверджений як фахове видання (перереєстрація)
Категорія «Б», РІШЕННЯ АТЕСТАЦІЙНОЇ КОЛЕГІЇ № 1643 ВІД 28.12.2019

Засновано в липні 1997 р.

Виходить 6 разів на рік

Хмельницький, 2020, № 5(289)

**Засновник і видавець: Хмельницький національний університет
(до 2005 р. – Технологічний університет Поділля, м. Хмельницький)**

Включено до науково-метричних баз:

Google Scholar	http://scholar.google.com.ua/citations?hl=uk&user=aIUP9OYAAAAAJ
Index Copernicus	http://jml2012.indexcopernicus.com/passport.php?id=4538&id_lang=3
Polish Scholarly Bibliography	https://pbn.nauka.gov.pl/journals/46221

Головний редактор	Скиба М. Є. , д.т.н., професор, заслужений працівник народної освіти України, член-кореспондент Національної академії педагогічних наук України, ректор Хмельницького національного університету
Заступник головного редактора	Синюк О. М. , д.т.н., професор кафедри машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем Хмельницького національного університету
Відповідальний секретар	Горяченко С. Л. , к.т.н., доцент кафедри машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем Хмельницького національного університету

Члени редколегії

Технічні науки

Березненко С.М., д.т.н., Бойко Ю.М., д.т.н., Говорушенко Т.О., д.т.н., Гордєєв А.І., д.т.н., Грабко В.В., д.т.н., Диха О.В., д.т.н., Захаркевич О.В., д.т.н., Злотенко Б.М., д.т.н., Зубков А.М., д.т.н., Каплун П.В., д.т.н., Карташов В.М., д.т.н., Кичак В.М., д.т.н., Мазур М.П., д.т.н., Мандзюк І.А., д.т.н., Мартинюк В.В., д.т.н., Мельничук П.П., д.т.н., Місяць В.П., д.т.н., Мясіщев О.А., д.т.н., Нелін Є.А., д.т.н., Павлов С.В., д.т.н., Параска О.А., к.т.н., Прохорова І.А., д.т.н., Рогатинський Р.М., д.т.н., Горошко А.В., д.т.н., Сарібекова Д.Г., д.т.н., Семенко А.І., д.т.н., Славінська А.Л., д.т.н., Сорокатий Р.В., д.т.н., Харжевський В.О., д.т.н., Шинкарук О.М., д.т.н., Шклярський В.І., д.т.н., Щербань Ю.Ю., д.т.н., Ясній П.В., д.т.н., професор, Бубуліс Альгімантас, доктор наук (Литва), Елсаєд Ахмед Ельнашар, доктор наук (Єгипет), Кальчиньскі Томаш, доктор наук (Польща), Коробко Євгенія Вікторівна, д.т.н. (Білорусія), Лунтовський Андрій Олегович, д.т.н. (Німеччина), Матушевський Мацей, доктор наук (Польща), Мушлевський Лукаш, доктор наук (Польща), Мушял Януш, доктор наук (Польща), Натрішвілі Тамаз Мамієвич, д.т.н. (Грузія), Попов Валентин, доктор природничих наук (Німеччина)

<i>Технічний редактор</i>	Горяченко К. Л., к.т.н.
<i>Редактор-коректор</i>	Броженко В. О.

**Рекомендовано до друку рішенням вченої ради Хмельницького національного університету,
протокол № 4 від 26.11.2020 р.**

Адреса редакції: редакція журналу "Вісник Хмельницького національного університету"
Хмельницький національний університет
вул. Інститутська, 11, м. Хмельницький, Україна, 29016

телефон: (038-2) 67-51-08	web: http://journals.khnu.km.ua/visnyk/support.htm
e-mail: visnyk.khnu@gmail.com	http://lib.khnu.km.ua/visnyk_tup.htm

Зареєстровано Міністерством України у справах преси та інформації.
Свідectво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації
Серія КВ № 9722 від 29 березня 2005 року

© Хмельницький національний університет, 2020
© Редакція журналу "Вісник Хмельницького національного університету", 2020

МАШИНОБУДУВАННЯ, МЕХАНІКА ТА МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

DOI 10.31891/2307-5732-2020-289-5-1

УДК 620.95; 620.98

В. І. АРТЕМЧУК, О. В. ДОВГА, В. В. ЮНИК

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

КОНТРОЛЬ ВИХОДУ МЕТАНУ У БІОЕНЕРГЕТИЧНОМУ ВИРОБНИЦТВІ

В останні роки в Україні спостерігається збільшення кількості нових біогазових установок та зацікавленість даним напрямком серед значного числа фермерів, комунальних господарств, приватних господарств та державних контролюючих органів. Енергетичні ресурси в наш час потрібні для різних галузей промисловості та забезпечення індивідуальних потреб людей. Виробництво та використання біогазу у якості джерела енергії є одним із важливих напрямків розвитку «зеленої енергетики» у аспекті створення нових відновлюваних джерел енергії.

У роботі обґрунтовано актуальність процесів виробництва біогазу та раціонального використання відходів сільськогосподарського виробництва. Розглянуто методи та засоби контролю виходу метану у біоенергетичному виробництві. Вибрано інфрачервоний абсорбційний метод вимірювання концентрації метану. Розглянуто схемне рішення газоаналізатора що містить оптичний первинний вимірювальний перетворювач в ІЧ-області спектру. Розроблена схема комбінована структура оптико-абсорбційного газоаналізатору. Застосований метод та засіб, завдяки високій чутливості та вибірковості, забезпечує задану точність вимірювання концентрації метану в діапазоні 20...100% об. Границя допустимої основної відносної похибки вимірювання CH₄ складає ±4% всьому робочому діапазоні.

Ключові слова: біомаса, енергія, біогаз, метанове бродіння, оптико-абсорбційний аналізатор.

V. ARTEMCHUK, O. DOVGA, V. UNYK

National technical university of Ukraine
"Igor Sikorsky Kyiv polytechnic institute"

METHANE YIELD CONTROL IN BIOENERGY PRODUCTION

In recent years, Ukraine has seen an increase in the number of new biogas plants and interest in this area among a significant number of farmers, utilities, private farms and government regulators. Energy resources are now needed for various industries and to meet the individual needs of people. Production and use of biogas as an energy source is one of the important areas of development of "green energy" in terms of creating new renewable energy sources.

The relevance of biogas production processes and rational use of agricultural production waste is substantiated in the work. Methods and means of controlling methane yield in bioenergy production are considered. An infrared absorption method for measuring methane concentration was chosen. The circuit solution of the gas analyzer containing the optical primary measuring transducer in the IR region of the spectrum is considered. The scheme of the combined structure of the optical-adsorption gas analyzer is developed. The applied method and tool, due to high sensitivity and selectivity, provides a given accuracy of measuring methane concentrations in the range of 0...80% vol. The limit of the allowable basic relative error of measurement of CH₄ makes ± 4% of all working range.

Key words: biomass, energy, biogas, methane fermentation, optical absorption analyzer.

Вступ. Екологічна безпека є важливою частиною національної безпеки всіх країн. Вона складається із взаємопов'язаних компонентів а саме: природної та техногенної безпеки. Згідно останніх досліджень, вже до кінця ХХІ століття може виникнути проблема вичерпання основних видобувних енергоносіїв, таким чином, енергія із відновлювальних ресурсів набуває все більшої актуальності в усьому світі.

Сучасна енергетика має переломний період зросту та водночас очікування неминучих якісних змін. Стрімке зростання енергоспоживання відбувається в умовах виснаження основного світового енергетичного ресурсу, що забезпечує майже 40% світового енергоспоживання – нафти, і в складності пошуку адекватної її заміни. Великий вплив на збільшення парникового ефекту впливають викиди вуглекислого газу.

У більшості розвинених країн масштаби використання «зеленої енергетики» стрімко зростають та отримують всебічне сприяння та підтримку на державному рівні: податкові послаблення, спрощений режим ввозу необхідного для роботи «зеленої енергетики» обладнання, пільгові умови продажу підприємствами галузі виробленого продукту, довготермінові контракти із державними профільними агентствами [1].

Поновлювальні або альтернативні джерела енергії – це джерела енергії природного походження, які постійно поповнюються. До них відносяться:

- біопалива (біодизель, біогаз, генераторний газ, брикети і гранули з відходів деревини, соломи, лузги та інших відходів сільського господарства);
- енергія сонця (сонячні колектори);
- енергія вітру (вітрогенератори);
- енергія води (гідроелектростанції);
- геотермальна енергія;
- енергія біомаси.

Слід зазначити, що цінність окремих технологій відновлюваної енергетики визначається тим, яку кількість традиційних енергоресурсів вони можуть замінити. ГЕС, вітроелектричні станції, фотоелектричні установки можуть виробити майже втричі більше електроенергії, ніж отримується за рахунок спалювання вихопного палива. Це відбувається шляхом прямого перетворення механічної в електричну енергію без додаткового використання теплової енергії за рахунок спалювання енергоносіїв.

Біоенергетика є однією з найперспективніших складових відновлюваної енергетики України. Вона заснована на використанні енергії біомаси вуглецевмісних органічних речовин рослинного та тваринного походження (деревина, солом, рослинні залишки сільськогосподарського виробництва, гній тощо). В той же час, виробництво енергії з біомаси потребує створення систем контролю виробництва для адитивного використання біоресурсів та оптимізації технологічного процесу [2].

Актуальність. Широке коло альтернативних джерел енергії є перспективними у точковому виробництві енергії, а саме отримання енергії із біомаси, біогазу із органічних відходів, біогазу що утворюється при роботі каналізаційно-очисних станцій. Все більшого розповсюдження набуває використання вторинних енергетичних ресурсів, таких як доменний газ, метан що утворюється у процесі дегазації вугільних родовищ, коксівний газ, використання скидного енергетичного потенціалу широкого кола технологічних процесів [3].

Найбільшими споживачами паливно-енергетичних ресурсів є підприємства аграрного сектору. У процесі роботи аграрних підприємств постає необхідність впровадження інноваційних енергозберігаючих технологій. Генерація біогазу, як побічного продукту функціонування сільськогосподарського виробництва, є ефективною ресурсозберігаючою технологією. В Україні цьому сприяє наявність широкого спектру сировини органічного походження та сприятливі природно-кліматичні умови, що формує низький рівень собівартості даного виду енергетичних ресурсів.

Початковою сировиною для виробництва біогазу є біомаса – органічна речовина рослинного або тваринного походження. Біомаса утворюється на багатьох етапах циклу виробництва продукції сільськогосподарства, та може знайти застосування у якості альтернативного джерела енергії. Різновиди біомаси можна класифікувати за природою речовини та походженням: продукти переробки деревини, залишки солом, осад стічних вод, відходи комунальних підприємств. Значна кількість біомаси утворюється при переробці органічної продукції. За статистикою, світові ресурси біомаси є джерелом приблизно 44 ЕДж енергії на рік. Підтверджені ресурси біомаси різної природи та походження у світі становлять близько 276 ЕДж за рік [4].

Метановому бродінню піддається сировина, яку можна в загальному поділити на три категорії:

- сільськогосподарська: гній та гноївка тваринного походження, відходи при виробництві кормів для тварин, солом та ін.;
- промислова: відходи м'ясокомбінатів, молочних і цукрових заводів, крохмаль, відходи що утворюються у процесі роботи фармацевтичної, косметичної та паперової промисловості та ін.;
- господарська: органічні відходи, комунальні стоки, та ін.

Відповідно до перебігу процесу трансформації біомаси, органічну сировину можна розділити на основну, у якій ферментація або бродіння може протікати самостійно, без додавання інших речовин та допоміжну. Головним ферментаційним матеріалом може виступати тваринний послід, гноївка, молода трава. У якості допоміжної сировини застосовують відходи що утворюються у процесі життєдіяльності людини, під час переробки фруктів, рослинні жири, м'яса, органічні залишки, що розкладаються біологічним шляхом, господарські стоки, та ін.

Один із способів виробництва енергії з біомаси є отримання біогазу шляхом анаеробного ферментаційного бродіння. Утворений газ являє собою суміш що містить 65% метану, 30% вуглекислого газу, 1% сірководню і незначну кількість азоту і водню. Біогаз можна отримати під час анаеробної ферментації тваринного посліду та при переробці відходів тваринного походження, із відстоїв стічних вод з високим вмістом органічної компоненти. Піролізний газ, що використовується для роботи двигунів внутрішнього згорання, утворюється при анаеробному термічному розкладі деревини.

Зважаючи на структуру енергетичних ресурсів України і обсяги виробництва та використання енергії, переваги біогазу що містить метан, перед природним газом є вагомими. Тому актуальним є контроль технологічних процесів його виробництва і застосування в промисловості та побуті.

Об'єкт дослідження. Біогаз – це газ, який виробляється із органічних відходів в процесі ферментації або піролізу має склад, подібний до природного газу, а також містить сірководень, вуглекислий газ, воду [2]. Метан, що є головним енергетичним компонентом біогазу, широко поширений в екосистемі планети. Природні гази містять до 90-97 % з метану за об'ємом. Газ метан є основним компонентом «рудних газів» що нагромаджуються у вугільних шахтах, під час гірничих робіт. Він виділяється внаслідок видалення вугільних пластів та супутніх порід, де може знаходитися у вільному або зв'язаному стані.

Метан може утворювати із повітрям вибухові суміші. При концентрації метану в повітрі близько 5-6 % за об'ємом газ здатний до займання та підтримання реакції горіння (спалахує при температурі 650-750 °C). Якщо підвищити концентрацію метану у газоповітряній суміші до 15-16% - здатний до вибуху при дії високої температури або електричного розряду. При концентрації вище 16 % за об'ємом – здатний до горіння у лише у кисневому середовищі. Метан є основним компонентом супутніх нафтових (до 90 % за об'ємом) та болотного газів. Створює слабке наркотичне оп'яніння при вдиханні людиною газоповітряної

суміші із вмістом метану. Гранично допустима концентрація метану в закритих приміщеннях складає ≤ 300 мг/м³ [5]. Основні фізико-хімічні властивості метану, що є основною складовою біогазу у процесі біоенергетичного виробництва, наведено в таблиці 1.

Таблиця 1

Фізико-хімічні властивості метану (CH ₄)	
Бруто-формула (система Хілла)	СП ₄
Молекулярна маса (в а.о.м.)	16,04
Питома теплоємність при постійному тиску (у Дж/г·К)	2,22 (°C)
Стандартна мольна теплоємність C _p (298 ДО, Дж/моль·К)	35,71 (г)
Температура самозапалювання на повітрі (°C)	537
Теплота згорання Q _D (кДж/моль)	882
Критична температура (в °C)	-82,3
Критичний тиск (в МПа)	4,71
Критична щільність (у г/см ³)	0,162
Теплопровідність (10 ⁻⁷ кал/см·с·град ⁻¹)	721

Переваги біогазу що містить метан, порівняно із природним газом, полягають в наступному:

1. Біогаз видобувається із біологічної сировини, тобто його виробництво і термічне окиснення є частиною природного циклу вуглецю. Застосування біогазу не призводить до накопичення вуглекислого газу в атмосфері і поширення парникового ефекту. Природний газ добувається із земної кори, і не є частиною атмосфери. При спалюванні природного газу відбувається накопичення вуглекислого газу в атмосфері планети.

2. Біогаз є відновлювальним джерелом енергії, це означає що він ніколи не вичерпається. Так як запасів природного газу і нафти при стрімкому використанні може вистачити не більше, ніж на 70-100 років, виробництво і використання біогазу є економічно обґрунтованим.

3. Сировина для біогазу знаходиться поблизу споживача і неподалік від заводів. Відпадає необхідність транспортування газу на великі відстані.

Серед наведеного переліку технологічних рішень використання альтернативних джерел енергії, найбільш актуальними по критерію «затрати – отриманий результат» є саме технології отримання енергії із біомаси: газифікація біомаси (деревини); переробка відходів життєдіяльності тварин і компосту у рослинництві; метод прямої конверсії біомаси в паливо; метод хімічної обробки рослинних олій або тваринних жирів; технології вирощування і переробки водоростей.

Аналізуючи методи виробництва енергії із біомаси необхідно звертати увагу на технологічні умови. В першу чергу це температура та тиск проходження процесів, кількісний та якісний контроль складу продукту що отримується виході технологічних установок. Процес енергетичного виробництва із біомаси повинен включати максимально автоматизовану систему контролю параметрів технологічного процесу, основні показники яких зазначено в таблиці 2.

Таблиця 2.

Методи виробництва біогазу та обґрунтування показників контролю виходу метану в біоенергетичному виробництві [6].

Методи визначення енергії	Характеристика і умови	Продукти що утворюються
Газифікація (деревини)	Піроліз деревини Температура 200 °C до 900 °C	CH ₄ (50...70% об.); CO ₂ (30...40% об.); CO, H ₂
Виробництво біогазу із сільсько-господарських продуктів (солома зернових, стебла кукурудзи, гичка цукрових буряків, картопляне бадилля)	Ферментація мікроорганізмами метаногенами (процес метаногенезу) Температура 800 °C	CH ₄ (50...70% об.); CO ₂ 30...40% об.); H ₂ , NH ₃ , NO, H ₂ S NO ₂ (0,2...0,4% об.);
Пряма конверсія біомаси (целюлози)	Селективний каталітичний піроліз на целюлітному каталізаторі Температура 600 °C	CO, CO ₂ і вода (H ₂ O)
Хімічна обробка рослинних олій та тваринних жирів	Біодизельно паливо Температура 200 °C до 900 °C	CO, CO ₂ , SO ₂ та CH ₄
Вирощування і переробка водоростей	Бродіння в спирт або метан Температура 700 °C	Спирт та метан

Методи вимірювання концентрації метану поділяють в залежності від природи впливу вимірювального засобу на досліджуваний об'єкт та способу отримання первинної вимірювальної інформації у процесі проведення вимірювань. Для знаходження концентрації метану у промисловості та лабораторній практиці застосовують засоби що ґрунтуються на електрохімічних, оптичних, акустичних, теплових, магнітних та інших методах вимірювань.

Інструментальне забезпечення оптичних методів контролю концентрації метану в газоповітряній суміші дозволяє виміряти оптичну щільність (адсорбційні методи), інтенсивність випромінювання (емісійні

методи) та коефіцієнт заломлення (рефрактометрія) досліджуваної газової суміші, та визначити залежність концентрації метану в газоповітряній суміші від інформативного параметру застосованого методу. Особливістю оптико-акустичного методу є вимірювання пульсацій тиску газу при поглинанні імпульсного збуджуючого випромінювання, що пройшло через аналізований газ. Метод дозволяє визначати концентрації CO, CO₂, CH₄, NH₃, SO₂, та ряду органічних сполук.

В основі оптичних адсорбційних методів лежить вимірювання коефіцієнту селективного поглинання газоповітряної суміші в ІЧ-, УФ- або видимій частині спектру світлового випромінювання. Дану методику використовують для селективного визначення CH₄, NO₂, CO₂, формальдегіду, фосгену, SO₂, CS₂, Cl₂ та інших газоподібних сполук. Метод оптично-адсорбційного аналізу сполук метану використовується також для моніторингу вмісту сполук відпрацьованих газів ДВЗ, особливо їхніх токсичних компонентів. У більшості оптико-адсорбційних методів у якості джерела випромінювання застосовуються лампи розжарювання, ртутні, водневі, ртутно-кадмієві, кадмієві, ніхромові спіралі [7].

У даний час, основна маса доступних на світовому ринку ІЧ-газоаналізаторів працюють, в основному, у ближній, та частково, у середній області ІЧ спектру. Використання більш довгохвильової частини спектру потребує застосування складних і дорогих джерел та приймачів випромінювання, спеціалізованих оптичних матеріалів. Дані фактори звужують сфери застосування аналізаторів при експлуатації, а в окремих випадках виключають можливість їхнього застосування зовсім.

Однією із основних задач при конструювання вимірювального обладнання для ІЧ аналізу є розробка спеціалізованих фільтрів для роботи з ІЧ випромінюванням. Застосування фільтрів дозволяє виділити вузькі ділянки спектра властиві певній газовій компоненті, при цьому володіючи мінімальним коефіцієнтом поглинання ІЧ-випромінювання. Вимірювачі для оптичного адсорбційного аналізу в ІЧ області спектру повинні володіти джерелами світла з великою потужністю випромінювання та приймачами випромінювання з високою чутливістю в області довжин хвиль до 20 мкм.

В той же час, ІЧ оптико-адсорбційний метод володіє широкими аналітичними можливостями в контролі концентрацій газоподібних сполук. Він володіє високою вибірковістю що заснована на використанні характерних смуг поглинання ІЧ енергії аналізованими речовинами та високою селективністю. Інструментальне забезпечення методу має більшу швидкість порівняно із іншими фізичними та фізико-хімічними методами контролю концентрацій компонентів газоповітряної суміші (кулонометрія, кондуктометрія та ін.) [8].

Метод оптично-адсорбційного аналізу сполук метану має ряд переваг, порівняно з іншими методами. Перевагами адсорбційного методу аналізу в ІЧ області спектру є:

- висока швидкість;
- висока селективність;
- можливість автоматизації процесу вимірювання;
- широкий діапазон вимірювання концентрацій окису вуглецю та вуглеводнів;
- висока точність вимірювання.

Інфрачервоний метод має широке застосування для визначення кількісного вмісту органічних газоподібних сполук у газових сумішах. ІЧ метод адсорбційного аналізу базується на основному законі поглинання електромагнітного випромінювання - законі Бутера-Ламберта-Бера [7].

$$\Phi = \Phi_0 e^{-\sum \lambda c l} = \Phi_0 e^{-D} \quad (1)$$

де Φ_0 – інтенсивність світлового потоку

Φ – інтенсивність світлового потоку після проходження шару речовини;

$\sum \lambda$ – коефіцієнт поглинання;

c – концентрація;

l – товщина шару;

D – оптична густина речовини.

Враховуючи можливості ІЧ техніки, основним діапазоном аналізу складу речовин рахують область ІЧ спектра до 15 мкм. Тому розбивши цей діапазон на три піддіапазони: до 5 мкм, 5-10 мкм; 10-15 мкм, можна класифікувати аналізовані речовини, у залежності від діапазону поглинання ІЧ енергії, узявши за основу три групи по величині поглинання: I – 70-100 %; II – 40-70%; III – до 40%. Основою задачею ІЧ адсорбційного методу є найбільш повне забезпечення аналізу складу речовин I групи із максимальною точністю та хоча б часткове груп для груп II та III.

В деяких випадках, особливо в піддіапазонах до 5 мкм та від 5 до 10 мкм, відбувається перекриття областей поглинання окремих хімічних сполук (або дуже близьке розташування їх максимумів поглинання). Наприклад, суміщення спектрів поглинання окису, двоокису вуглецю та окису азоту та ін., що в більш довгохвильовому діапазоні майже не спостерігається. Тому, в методиці оптико-адсорбційної спектроскопії в області 1-10 мкм. необхідним є застосування спектральних фільтрів ІЧ-випромінювання. Це дозволяє виділити вузькі ділянки спектру властиві вибраній газовій компоненті, при цьому володіючи мінімальним коефіцієнтом поглинання

Розглянувши промислові зразки доступних в Україні вимірювачів сполук виду C_xH_y, можна зробити висновок, що всі вони мають у своєму складі ІЧ-випромінювач, світлофільтр, вимірювальну кювету, об'єктиватор та підсилювач [9]. Отже, для проектування газоаналізатору контролю виходу метану у

біоенергетичному виробництві було вибрано 2-канальну різницеву схему порівняння сигналів вимірювальної інформації на виході зразкового та основного вимірювального каналів. Схема комбінована структурна інфрачервоного аналізатору контролю концентрації CH_4 у виході біоенергетичного виробництва є наступною (рис.1).

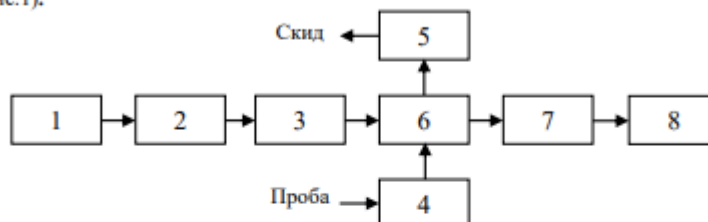


Рис 1. – Схема комбінована структурна оптико-абсорбційного аналізатора CH_4 : 1 – джерело випромінювання; 2 – оптична система випромінювача; 3 – модулятор із світлофільтрами; 4 – система підготовки проби; 5 – система утилізації проби; 6 – кюветне відділення; 7 – фотоприймальний пристрій; 8 – попередній підсилювач;

На початку вимірювань проба від пробовідбірника потрапляє в систему підготовки проби, там вона фільтрується від мікрочастинок бруду та пилу. Наступний етап включає внесення аналізованої суміші у вимірювальну кювету, потім в систему утилізації проби, де відбувається фільтрація газоповітряної суміші від шкідливих речовин для подальшого скиду газу в оточуюче середовище.

Потік ІЧ-випромінювання проходить через вимірювальну кювету, де його частина поглинається аналізованим газом. Потім, випромінювання потрапляє на робочий та порівнювальний світлофільтри, які вбудовані у модулятор. Робочий світлофільтр пропускає довжину хвилі, яка поглинається вимірювальним газом CH_4 , а порівнювальний світлофільтр формує довжину хвилі, яка буде відповідати нульовому газу. Після інтерференційних фільтрів модульоване випромінювання, по черзі із вимірювального та порівняльного каналів поступає на фотоприймач, де здійснюється перетворення його в електричний сигнал. Далі за допомогою оптопарі відбувається синхронізація даних двох сигналів – різницеве зрівняння.

Після обробки у фотоприймачі, аналоговий сигнал вимірювальної інформації потрапляє на попередній підсилювач, де він підсилюється до необхідного значення по струму чи напрузі. Підсилений сигнал потрапляє на вторинний вимірювальний перетворювач.

У якості джерела інфрачервоного випромінювання в аналізаторі використовуються відкриті або ізольовані від навколишнього середовища провідники, що нагріваються електричним струмом, з металів, що мало окислюються, і сплавів, таких як ніхром, платина та ін. Тому, вибираємо ніхромову спіраль у вигляді циліндричного тіла розжарювання з поперечним перерізом 0,3 мм. Споживана потужність тіла розжарювання складає 4 Вт, опір – приблизно 1 Ом. Вибір обґрунтовано дешевизною та простотою конструкції.

Розрахована потужність випромінювача з умов економічності напруги та умов розроблення такого елементу ПВП, в якому розміри і маса будуть мінімальні, буде складати:

$$P = I^2 R = 4 \cdot 1 = 4 \text{ [Вт]} \quad (2)$$

де P – споживана потужність випромінювача;

$I = 2 \text{ А}$, сила постійного струму в колі первинного вимірювального перетворювача (ПВП);

$R = 1 \text{ Ом}$ – опір ніхромового дроту;

$$R = \frac{\rho l}{S} \quad (3)$$

де $\rho = 0,06 \text{ Ом/мм}$ – питомий опір провідника;

l – довжина провідника;

$d = 0,3 \text{ мм}$, – діаметр провідника;

Розрахована довжина ніхромового дроту, необхідна для виготовлення нагрівального елементу випромінювача буде складати:

$$l = \frac{Rd}{\rho} = \frac{1 \cdot 0,3}{0,06} = 50 \text{ [мм]} \quad (4)$$

Для отримання максимального потоку випромінювання нагрівальний елемент необхідно розташувати у фокусі увігнутого дзеркала, діаметр якого дорівнює діаметру кювети відповідно до структурної схеми рисунку 1.

Світлофільтр вибрано за такою характеристикою як коефіцієнт пропускання, що має бути максимальним. Найбільше поставленій умові відповідають смугові інтерференційні фільтри, які складаються з декількох діелектричних шарів накладених по чергово. Такі фільтри дозволяють отримати дуже вузькі смуги в інфрачервоній із найвищим коефіцієнтом пропускання 0,85.

У ІЧ-аналізаторах найчастіше використовуються піроелектричні приймачі ІЧ випромінювання. Їх перевагами є: велика швидкість при високій пороговій чутливості; велике значення коефіцієнту перетворення; великий динамічний діапазон; не потребують джерел живлення.

У якості первинного перетворювача газоаналізатору для контролю виходу аміаку в біоенергетичному виробництві вибрано приймач оптичного випромінювання піроелектричний МГ-30, який призначений для реєстрації та вимірювання модульованого випромінювання в діапазоні $\lambda = 2...20$ мкм та перетворення енергії модульованого випромінювання в електричний сигнал.

Смуга пропускання фотоприймача визначається:

$$R \cdot \Delta f = k \Delta f \quad (5)$$

де Δf – зміна частоти

k – коефіцієнт при квадратній формі імпульсу

Функція перетворення первинного перетворювача має вигляд:

$$U_{\text{вих}} = K_{\text{вдк}} \cdot \tau_{\text{вск}}^2 \cdot \tau_{\text{кск}} \cdot \tau_{\text{ф}} \cdot S \cdot K_{\text{п}} \quad (6)$$

де $U_{\text{вих}}$ – напруга на виході приймача;

$K_{\text{вдк}}$ – коефіцієнт використання джерела випромінювання;

$\tau_{\text{вск}}$ – коефіцієнт, що характеризує поглинання випромінювання віконцями кювети;

$\tau_{\text{кск}}$ – коефіцієнт пропускання кювети;

$\tau_{\text{ф}}$ – коефіцієнт, що характеризує вплив світлофільтру на інтенсивність випромінювання;

S – чутливість приймача випромінювання;

$K_{\text{п}}$ – функція перетворення підсилювача.

Функція перетворення підсилювача, його коефіцієнт підсилення, має бути таким, щоб забезпечувати належне підсилення сигналу при мінімальній і максимальній концентрації CH_4 у всьому діапазоні. Для приймача МГ-30 при чутливості $S = 1000$ В/Вт, коефіцієнт підсилення буде рівний: $K_{\text{п}} = 10$.

При відсутності у кюветі аналізованого газу інтенсивність випромінювання, яка пройшла крізь робочий і опорний канали, однакова. Поява вимірюваного газу в кюветі послабить випромінювання в робочому каналі, а приймач випромінювання зареєструє модульоване різницеве випромінювання між робочим і опорним каналами, пропорційно концентрації вимірюваного газу. Далі сигнал потрапляє у блок відображення інформації, де ми маємо можливість візуально оцінити концентрацію вимірюваного компоненту на цифровому або стрілочному табло.

Висновки. Виробництво біогазу надає можливість досягти енергетичної незалежності споживачів, особливо точкових, створити нові робочі місця, вирішити проблеми утилізації відходів, зокрема тваринництва, покращити екологічну ситуацію. Біогаз є досить цінним серед поновлювальних джерел енергії, оскільки може застосовуватись в різних сферах електроенергетики, виробництва тепла та в якості пального, а також може вироблятися відповідно до потреб на основі наявної місцевої сировини.

Розглянута схема комбінована структурна аналізатору містить джерело інфрачервоного випромінювання на основі ніхромової нитки, кювету, інтерференційний світлофільтр, піроелектричний приймач випромінювання, модуляційний диск та посередній підсилювач. Оптично-абсорбційний аналізатор даного схемного рішення дозволяє проводити кількісне визначення концентрації сполук виду CO_2 та C_2H_2 . Було враховано використання стабілізації нульових показів газоаналізатора (ГА) за рахунок автоматичної корекції напруги джерела ІЧ-випромінювання.

Вибраний ІЧ-оптико-адсорбційний метод вимірювання виходу метану у біоенергетичному виробництві є вдалим для вирішення задач контролю у технологічних процесах виробництва біогазу. Пропонований метод та засіб мають високу чутливість та вибірковість, достатню швидкість, широкий діапазон вимірювання та прийнятну точність вимірювань, особливо у випадку поточної діагностики виходу метану із біомаси. ІЧ-метод забезпечує кількісне визначення виходу метану у біоенергетичному виробництві у діапазоні об'ємних концентрацій 20-100%.

Література

1. Альтернативні джерела енергії/ Законодавство України [Електронний ресурс] – Режим доступу: http://search.ligazakon.ua/l_doc2.nsf/link1/TM050043.html
2. Гелетуха Г.Г., Железна Т.А. Сучасний стан та перспективи розвитку біоенергетики в Україні. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/60547> 2010р.
3. Комплекс з виробництва електроенергії з біогазу, отриманого шляхом анаеробного бродіння із відходів сільськогосподарства та тваринництва /Навчальні матеріали онлайн [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://eia.menr.gov.ua/uploads/documents/3157/reports/9581285db9cfb73e2ce7364706a11e29.pdf>
4. Аналіз шляхів модернізації перемішуючого пристрою біогазової установки/ Навчальні матеріали онлайн [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://essuir.sumdu.edu.ua/bitstream>
5. К. Академперіодика Стратегія енергозбереження в Україні : аналіт.-довід. Матеріали за ред. В.А. Жовтянського, М.М. Кулика, Б.С. Стогнія. – 2006. – Т.1. – 510 с.

6. Альтернативна енергетика: [навч. посібник для студ. вищ. навч. закл.] / М.Д. Мельничук, В.О. Дубровін, В.Г. Мироненко, І.П. Григорюк, В.М. Поліщук, Г.А. Голуб, В.С. Таргоня, С.В. Драгнєв, І.В. Свистунова, С.М. Кухарець. – К: «Аграр Медіа Груп», 2012. – 244 с.
7. Горелик Д.О., Конопелько Л.А., Панков Э.Д. Экологический мониторинг. Оптико-электронные приборы и системы. В 2-х томах. Санкт-Петербург.:Крисмас, 1998. - 592с.
8. Бреслер П.И. Оптические абсорбционные газоанализаторы и их применение – Л.: Энергия, 1980. – 164с.
9. Заповитряный В.С., Коробейник А.В., Романов В.Ф. Двухкомпонентный инфракрасный газоанализатор // Современные методы и приборы анализа состава газовых и жидких сред: Сб. научн. трудов АО «Укрналит». – К.: 1995. – С. 147-156.

References

1. Alternatyvni dzherela enerhii/ Zakonodavstvo Ukrainy [Elektronnyi resurs] – Rezhym dostupu: http://search.ligazakon.ua/l_doc2.nsf/link1/TM050043.html
2. Heletukha N.H., Zhelezna T.A. Suchasnyi stan ta perspektivy rozvytku bioenerhetyky v Ukraini. [Elektronnyi resurs] – Rezhym dostupu: <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/60547> 2010r.
3. Kompleks z vyrobnytstva elektroenerhii z biobazu, otrymanoho shliakhom anaerobnoho brodinnia iz vidkhodiv silskoho hospodarstva ta tvarynnytstva /Navchalni materialy onlain [Elektronnyi resurs] – Rezhym dostupu: <http://cia.menr.gov.ua/uploads/documents/3157/reports/9581285db9cfb73e2ce7364706a11e29.pdf>
4. Analiz shliakhiv modernizatsii peremishluiuchoho prystroiu biohazovoi ustanovky/ Navchalni materialy onlain [Elektronnyi resurs] – Rezhym dostupu: <https://essuir.sumdu.edu.ua/bitstream>
5. K. Akademiicheskii Stratehiia enerhozbezheniia v Ukraini : analit.-dovid. Materialy za red. V.A. Zhovtianskoho, M.M. Kalyka, B.S. Stohniia. – 2006. – T.1. – 510 s.
6. Alternatyvna enerhetyka: [навч. посібник для студ. вищ. навч. закл.] / М.Д. Мельничук, В.О. Дубровін, В.Г. Мироненко, І.П. Григорюк, В.М. Поліщук, Г.А. Голуб, В.С. Таргоня, С.В. Драгнєв, І.В. Свистунова, С.М. Кухарець. – К: «Аграр Медіа Груп», 2012. – 244 с.
7. Horelyk D.O., Konopelko L.A., Pankov Э.Д. Экологический мониторинг. Оптико-электронные приборы и системы. В 2-х томах. Санкт-Петербург.:Крисмас, 1998. - 592с.
8. Bresler P.Y. Opticheskiye absorbtionnye hazoanalizatory i ykh prymerenye – L.: Enerhiia, 1980. – 164s.
9. Zapovytrianui V.S., Korobeinik A.V., Romanov V.F. Dvukhkomponentnyi ynfirakrasnyi hazoanalizator // Sovremennyye metody y prybory analiza sostava hazovukh y zhydykh sred: Sb. nauchn. trudov AO «Ukranalit». – K.: 1995. – S. 147-156.

ДОДАТОК Б

Стаття «Актуальність біоенергетичного виробництва метану в Україні»

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»ПРИЛАДОБУДІВНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ МЕНЕДЖМЕНТУ І МАРКЕТИНГУ*Інженерна Компанія*
ТЕХНОПОЛІС*XVI Всеукраїнська науково-практична конференція студентів,
аспірантів та молодих вчених***ЕФЕКТИВНІСТЬ ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ
ІНЖЕНЕРНИХ РІШЕНЬ У ПРИЛАДОБУДУВАННІ**08-09 грудня 2020 р.
м. Київ, Україна**Збірник праць конференції**

КИЇВ 2020

УДК 621:537

Загальною метою конференції є спілкування студентів та аспірантів з питань ефективності перспективних розробок, нових рішень в приладобудуванні. Збірка містить 112 статей за результатами наукових та практичних досліджень з актуальних проблем автоматизації та приладобудування. Розраховано на аспірантів та студентів старших курсів з спеціальностей «Автоматизація та приладобудування» і «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка».

Адреса Оргкомітету конференції:
03056, Київ-56, пр. Перемоги, 37, корпус 1, Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського", Приладобудівний факультет, 1720.

Рекомендовано до публікації на засіданні Організаційного комітету конференції та Вченої Ради ПБФ КПІ ім. Ігоря Сікорського (протокол №9/20 від 30.11.2020 р.).

Відповідальний редактор – С.Л. Лакоза – к.т.н., доц.
В авторській редакції.

Збірник праць XVI Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених "ЕФЕКТИВНІСТЬ ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ ІНЖЕНЕРНИХ РІШЕНЬ У ПРИЛАДОБУДУВАННІ", 08-09 грудня 2020 р. — К.: ПБФ, КПІ ім. Ігоря Сікорського. – 2020. – 450 с.

Видано на замовлення Приладобудівного факультету Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського".

УДК 620.95; 620.98*В.І. Артемчук, студенти гр. ПН-91мп, В.В. Юник, студенти гр. ПН-391мп, О.А.**Осипенко, студенти гр. ПН-391мп, д.т.н., професор. Защепкіна Н.М.**КПІ ім. Ігоря Сікорського***АКТУАЛЬНІСТЬ БІОЕНЕРГЕТИЧНОГО ВИРОБНИЦТВА МЕТАНУ В
УКРАЇНІ**

Анотація. Найперспективнішою складовою є біоенергетика в Україні. Актуальним є зменшення використання природного газу – перспектива для економіки України. Тому пошук альтернативних джерел енергії та впровадження енергозберігаючих технологій є актуальною задачею, тому що забезпечить не залежність від імпортованих енергоносіїв і підвищення енергетичної безпеки. Енергетичні ресурси забезпечать індивідуальні потреби людей в різних галузях промисловості. Виробництво та використання біогазу у якості джерела енергії є одним із надважливих напрямків розвитку «зеленої енергетики» у аспекті створення нових відновлюваних джерел енергії.

Ключові слова: біогаз, енергетична галузь, відновлювальні джерела енергії, біомаса, обробка даних, метанове бродіння.

ВСТУП

На даному етапі розвитку енергетичного сектору України біоенергетика є галуззю альтернативної енергетики, що розвивається найбільш динамічно. Прогрес спонукає на розвиток енергетичної галузі, а саме використання енергозберігаючих технологій та альтернативних енергетичних джерел. Загроза вичерпання джерел палива корисних копалин, для потреб людства, набуває необхідність пошуку альтернативних джерел палива для забезпечення енергетичних потреб України. Найефективнішим і універсальним енергоносієм з поміж інших біологічних видів палива є біогаз, що добувається з відновлюваної сировини та органічних відходів. Виробництво біогазу та його споживання, може відбуватись безпосередньо на місці виробництва, забезпечуючи електроенергію та тепло. Отриманий біогаз, після процесів очищення та збагачення, може відправлятися у спільну газорозподільну мережу.

МЕТА РОБОТИ

Метою роботи є аналіз технічних показників формування біоенергетичної галузі в Україні. Проаналізувавши доступні дані розвитку енергетичного сектору України за останні роки, можна зробити висновок, що використання й виробництво біогазу може забезпечити додаткове джерело грошових надходжень, та збільшить кількість робочих місць. Налагодження виробництва біогазу в Україні відкриває шлях до енергетичної незалежності. Виробництво біогазу є інвестиційно вигідною та ефективною технологією через наявність великого сировинного потенціалу, вигідні природно-кліматичні умови та низьку собівартість вихідної сировини.

Кількість відновлювальних джерел енергії в світовому енергетичному балансі незначна – близько 14%, а внесок біомаси – лише близько 1,8%[1]. Біомаса посідає четверте місце за значенням палива у світі, що створює близько 2 млрд. тон відходів на рік. В абсолютних величинах – це становить практично 14% загального споживання первинних енергоносіїв. Таким чином, можна стверджувати, що понад 70% об'єму поновлювальних джерел енергії

XVI Всеукраїнська науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Ефективність та автоматизація інженерних рішень у приладобудуванні», 08-09 грудня 2020 року, КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ, Україна

проходиться на вихід із біомаси [1]. Враховуючи все вищесказане, можна зробити висновок, що перехід до раціонального використання відновлювальних джерел енергії є у наш час головною світовою тенденцією. Використання та виробництво біопалива зростає в усьому світі, особливо у країнах Європи.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Провівши огляд технологічних процесів отримання біогазу із органічної сировини, можна отримати класифікацію технологій його отримання із застосуванням відновлювальних джерел енергії. Сировина для виробництва біогазу, що має можливість метанового бродіння, поділяється на три категорії (рис.1).



Рисунок 1. Види вихідної сировини для виробництва біогазу

Вихідну органічну сировину, що може самостійно виконувати ферментацію можна в загальному випадку розділити на основну (це гній, гноївка, молода трава) та допоміжну. Сировина, в яку додають інші речовини для ферментації (допоміжний компонент) – це залишки їжі, продукти переробки фруктів, жири, органічні продукти, м'ясо, що розкладаються біологічним шляхом, господарські стоки та ін.

В результаті проходження ферментативних процесів розкладання органічної сировини отримують так званий горючий газ в неочищеній формі.

Горючий газ – біогаз, що утворюється в результаті бродіння різноманітної біомаси, містить до 50-75 % метану (CH_4), до 25-50% вуглекислого газу (CO_2), 0-10% водяної пари (H_2O), 0,01-5% азоту (N_2), 0,01-2% кисню (O_2), 0-1% водню (H_2), 0,01-2,5 мг/м³ аміаку (NH_3), 10-30 мг/м³ сірководню (H_2S) (рис.2) [2].

У процесі природного розкладання органічної маси за допомогою мікробів при анаеробних умовах (при наявності вологого середовища та відсутності кисню) утворюється біогаз по типу метанового бродіння. Найбільшу частину компоненту біогазу займає горючий газ метан, вміст якого змінюється відповідно до типу сировини та перебігу процесу бродіння.



Рисунок 2. Хімічний склад біогазу метанового бродіння

В Україні при виробництві біогазу для біогазових установок використовують сировину, яку можна поділити на три категорії:

- сільськогосподарська: гній, енергетичні культури, гноївка, залишки біомаси, та ін.;
- промислова: відходи скотобоєнь, молочних і цукрових заводів; крохмаль, фармацевтичної, косметичної та паперової промисловості;
- господарська: органічні відходи, комунальні стоки, та ін. [4].

Залежно від вмісту субстрату, пропорції вуглеводів, білків та жирів, різні субстрати матимуть різні потенціали виходу біогазу, від чого залежать різний вмістом метану що можна отримати на виході (рис. 3).

XVI Всеукраїнська науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Ефективність та автоматизація інженерних рішень у приладобудуванні», 08-09 грудня 2020 року, КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ, Україна

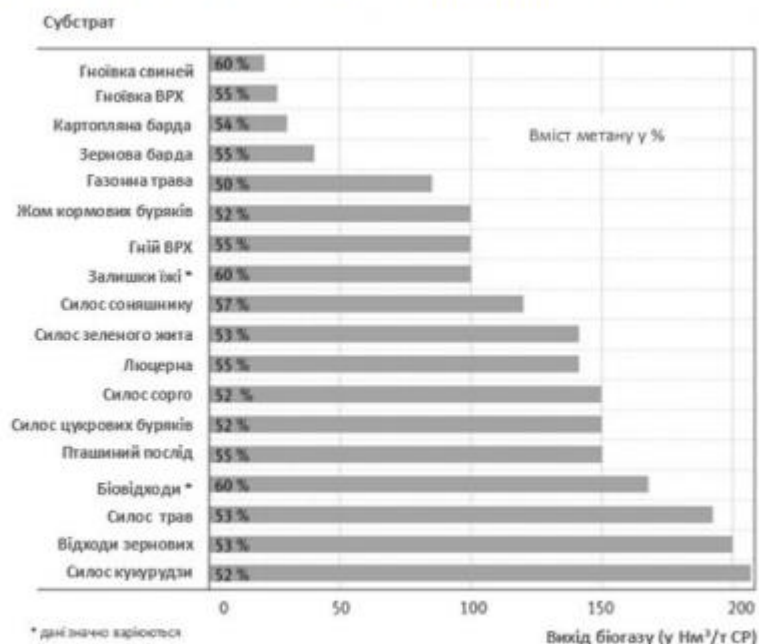


Рисунок 3. Вихід біогазу залежно від виду сировини

Перевагою виробництва енергії з біогазу є відсутність шкідливих викидів для навколишнього середовища, тому що не відбувається емісія парникового газу CO_2 . Також це сприяє зменшенню кількості органічних відходів. Ще однією перевагою отримання біогазу є незалежність від кліматичних та погодних умов, на відміну від енергії вітру та сонячного випромінювання. У порівнянні з викопними джерелами енергії біогаз в Україні має величезний відновлювальний потенціал. Теоретичний річний потенціал біогазу в Україні становить 3,2 млрд. м³.

Замкнений цикл виробництва забезпечує енергетичне перетворення органічних відходів, утворюючи тип поживних речовин, що набувають форму збалансованих біодобрив та повертаються на поля. Залишки від процесу бродіння у біогазових установках мають значну кількість доступного для рослин азоту, калію, фосфору, мікроелементів та використовуються як добрива, які мають властивості мінеральних добрив. У залишках бродіння зберігається 70% вмісту азотних речовин, 100% - калій й фосфор [4].

Таким чином, для підтримки родючості ґрунтів, достатньо додавати залишки метанового бродіння що дозволяє заміщати до 30% азоту ґрунтів за рахунок внесення мінеральних добрив або безводного аміаку. При виробництві 1 м³ біогазу на заводах утворюється приблизно 5,4 кг твердих та 16,8 кг рідких біодобрив [1].

Використання залишків бродіння, як добрива, зменшує викиди парникових газів майже у 3 рази, на відміну від традиційних добрив (рис. 4). Залишки метанового бродіння завдяки своїй консистенції та хімічному складу легко проникають в ґрунт.

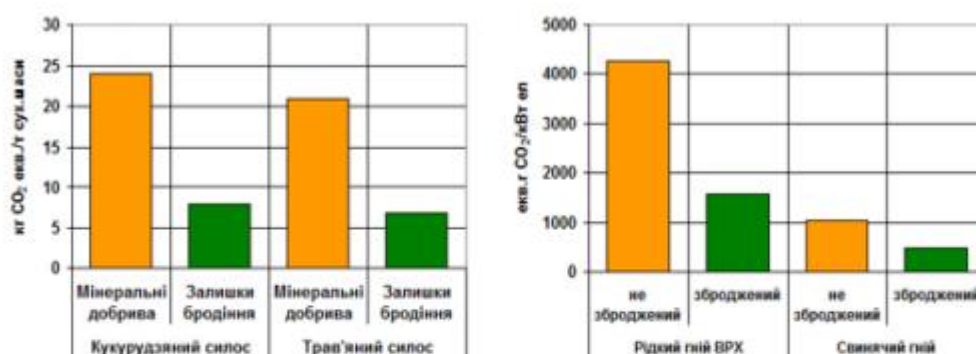


Рисунок 4. Скорочення викидів парникових газів при застосування залишків метанового бродіння

За відомостями Latifundist, станом на листопад 2019 року, в Україні працює лише 20 великих станцій біогазового виробництва [3]. Деякі з них працюють на сільськогосподарських відходах, інші – утилізують звалища промислових відходів. В порівнянні із Німеччиною, на території якої нараховується до 8 тис. біогазових установок – кількість станцій біогазового виробництва в Україні поки що незначна. В той же час, в загальному, на території Європи діє до 14,5 тис. біогазових станцій, причому їх кількість постійно зростає (рис. 5).

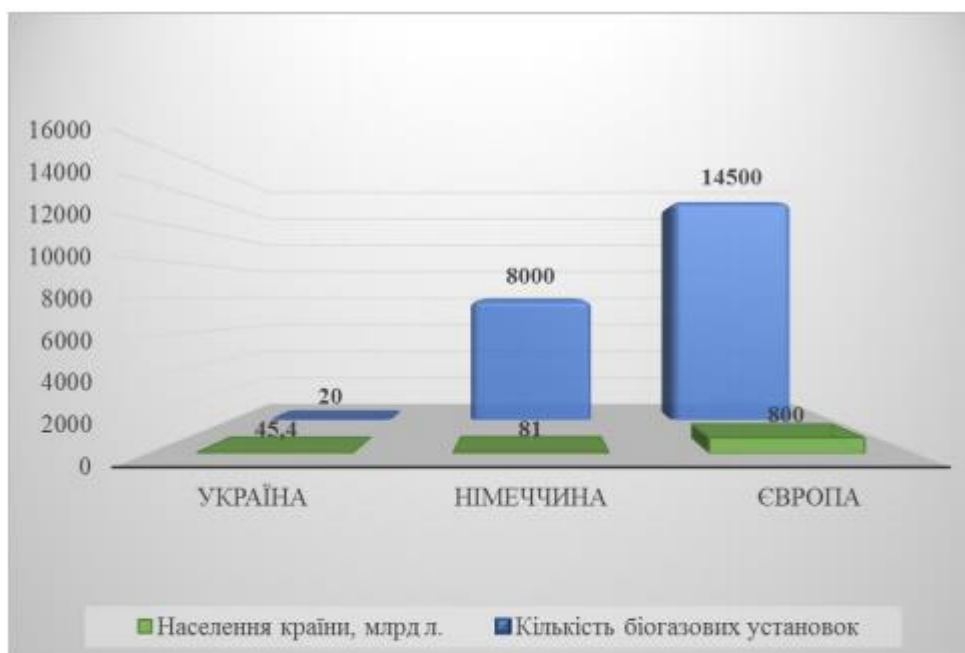


Рисунок 5. Біогазові установки в Україні, Німеччині, Європі

Таким чином, враховуючи перспективи агросектору України, розвиток біогазового виробництва нашої країни є досить актуальним. Аналізовані дані [3]

XVI Всеукраїнська науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Ефективність та автоматизація інженерних рішень у приладобудуванні», 08-09 грудня 2020 року, КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ, Україна

показують стрімкий розвиток впровадження у виробництво інноваційних ресурсозберігаючих технологій біогазового виробництва за останні роки. Австрія, Італія, Німеччина, Польща та інші країни на протязі 20 років досягли значних висот у використанні поновлювальних джерел енергії з подальшим удосконаленням технологій отримання альтернативної енергії.

ВИСНОВОК

На даний момент, можна стверджувати, що в Україні існує дефіцит власних викопних енергоносіїв для забезпечення сталого розвитку. В свою чергу – це створює енергетичну та економічну залежність від країн постачальників енергоресурсів. Альтернативою є біогаз, що утворюється з відходів різного біологічного походження та має головну перевагу – приналежність до відновлювальних джерел енергії.

При вирощуванні в Україні сільськогосподарських культур на площі 3,5 млн. є можливість виробляти щорічно близько 51,7 млрд.м³ біогазу. Це дозволяє частково або повністю відмовитись від імпорту природного газу, зменшити викиди парникових газів, створити нові робочі місця та виконати вимоги Європейського енергетичного співавторства.

Український енергетичний потенціал при використанні біогазу є досить значним. Виробництво біогазу із твердих побутових відходів та відходів сільського господарства, допомагає проблемі їх утилізації. Завдяки цьому з'являється можливість зменшити техногенне навантаження на навколишнє середовище. При виробництві біогазу із відходів сільського господарства утворюються органічні добрива. Тому, важливим є використання значного потенціалу біоенергетики України в повному обсязі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Біогаз: навч. посіб. / Голуб Г.А., Дубровін В.О., Поліщук В.М., Сера К.М., Марус О.А., Драгнев С.В., Сидорчук О.В., Павленко М.Ю., Чуба В.В., Кухарець С.М., – ЮНІДО 2015 – 48 с.
- [2] Альтернативна енергетика: навч. посіб. / М.Д. Мельничук, В.О. Дубровін, В.Г. Мироненко, І.П. Григорюк, В.М. Поліщук, Г.А. Голуб, В.С. Таргоня, С.В. Драгнев, І.В. Свистунова, С.М. Кухарець. – К: «Аграр Медіа Груп», 2011. – 612 с.
- [3] Fachagentur nachwachsende rohstoffe e.v.: Basisdaten bioenergie Deutschland. Bestell-Nr. 469, mediathek.fnr.de, FNR 2018 – 52 p.
- [4] Біопалива (технології, машини і обладнання) /В.О. Дубровін, М.О. Корчемний, І.П. Масло, О. Шептицький, А. Рожковський, З. Пасторек, А. Гжибек, П. Євич, Т. Амон, В.В. Криворучко – К.: ЦП «Енергетика і електрифікація», 2004. – 137 с.

Наук. керівник – д.т.н., проф, Защепкіна Н.М.

ДОДАТОК В

Стаття «Вплив складу атмосфери на урожайність трав'янистих рослин»



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

ПРИЛАДОБУДІВНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

***XIII Науково-практична конференція студентів, аспірантів та
молодих вчених***

"ПОГЛЯД У МАЙБУТНЄ ПРИЛАДОБУДУВАННЯ"

13-14 травня 2020 р.
м. Київ, Україна

Збірник праць конференції



КИЇВ 2020

УДК 621:537

Загальною метою конференції є спілкування студентів та аспірантів з питань перспективних розробок, нових рішень в приладобудуванні. Збірка містить 100 статей за результатами наукових та практичних досліджень з актуальних проблем автоматизації та приладобудування. Розраховано на аспірантів та студентів старших курсів з фаху «Автоматизація та приладобудування» і «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка».

Адреса Оргкомітету конференції:
03056, Київ-56, пр. Перемоги, 37, корпус 1, Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського", Приладобудівний факультет, 1720.

Рекомендовано до публікації на засіданні Організаційного комітету конференції та Вченої Ради ПБФ КПІ ім. Ігоря Сікорського (протокол №3/20 від 27.04.2020 р.).

Відповідальний редактор – С.Л. Лакоза – к.т.н., доц.
В авторській редакції.

Збірник праць XIII Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених "ПОГЛЯД У МАЙБУТНЄ ПРИЛАДОБУДУВАННЯ", 13-14 травня 2020р. — К.: ПБФ, КПІ ім. Ігоря Сікорського. – 2020. – 395 с.

Видано на замовлення Приладобудівного факультету Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського".

УДК 677.01

Артемчук В.І студенти гр. ПН-91мп, д.т.н., проф. Зацепкіна Н.М.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ВПЛИВ СКЛАДУ АТМОСФЕРИ НА УРОЖАЙНІСТЬ ТРАВ'ЯНИСТИХ РОСЛИН

Анотація. У даній статті доведено актуальність контролю повітря в теплиці для швидкісного інформування про його стан. Удосконалення способів контролю якості матеріалів за допомогою застосування сучасних методів вимірювальної техніки є шляхом вирішення важливої проблеми.

Ключові слова: забрудненість повітря, ґрунтове та атмосферне повітря.

ВСТУП

Забрудненість атмосферного повітря є глобальною проблемою, що негативно впливає на здоров'я людини та знищує флору та фауну планети. Понаднормове збільшення концентрації фізичних, хімічних та біологічних компонентів спричиняє забруднення атмосферного повітря, що призводить до дисбалансу природної системи.

Швидкий розвиток атмосферного забруднення може призвести до пригнічення або загибелі рослин і навіть цілих природних фітоценозів, що призводить до необоротного процесу погіршення стану флори та фауни й людини [1, 2].

Забрудненість повітря спричиняє вразливість рослинності до паразитів, комах, вірусних та грибкових хвороб [3].

Рослини поглинають важкі метали, але зі збільшенням концентрації у ґрунті та повітрі призводить до їх нерівномірного накопичення та негативно впливають на ріст, розвиток, морфологію та фенологічний ритм [4, 5].

Між частинками твердого ґрунту є повітря, яке не заповнила вода в ґрунті. Повітря, також, адсорбоване поверхнею ґрунтових частинок та розчинене в ґрунтових водах. Будова ґрунтового повітря непостійна. Ґрунтове і атмосферне повітря має різний хімічний склад.

Через біологічні процеси, процеси окислення та відновлення вміст кисню та вуглекислого газу різний (табл. 1). Кисень поглинається виділяється вуглекислий газ при розкладі мікроорганізмами органічної маси і диханні коріння.

Таблиця 1. Склад атмосферного і ґрунтового повітря
(за Н.П. Ремезовим), % до об'єму

№ п/п	Повітря	Азот	Кисень	Вуглекислий газ
1	Атмосферне	78,0	21,0	0,03
2	Ґрунтове	78,8	5,20	0,1-15

Склад кисню та вуглекислого газу в ґрунтовому повітрі залежить від стану ґрунту, складу рослинного покриву, температури, аерації, розташування вод, тиску повітря, дії вітру, внесенням добрив і деякою мірою газообміном.

Найбільший вплив на газообмін у ґрунті має дифузія газів та пора року. Вплив на врожайність сільськогосподарських культур сприяє вміст та склад повітря в ґрунті, як і вміст добрив та вологи.

ХІІІ Всеукраїнська науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Погляд у майбутнє приладобудування», 13-14 травня 2020 року, КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ, Україна

Внаслідок постійного газообміну між ґрунтовим і атмосферним повітрям відбувається певною мірою поновлення ґрунтового і надземного шару повітря. Газообмін впливає на більшість ґрунтових процесів. Чим активніший біохімічний процес, тим сильніший обмін між ґрунтовим і атмосферним повітрям. Вуглекислий газ та кисень спонукають вивітрюванню й окисленню різних мінералів, створення доступних для живлення рослин сполук. Недостача ґрунтового повітря призводить до домінування відновлювального хімічного процесу, що перешкоджає доступ поживним речовинам до рослин.

Дослідження показали що, корисні мікроорганізми не розвиваються без доступу свіжого повітря в ґрунті, відбувається денітрифікуючий шкідливий процес.

Кореневі системи рослин потребують для дихання, кисень. При недостатці кисню в ґрунтовому повітрі створюються анаеробні процеси з нагромадженням шкідливих органічних сполук, які призупиняють ріст рослин. Це може призвести до зниження продуктивності й загибелі їх. Пониження вмісту кисню в ґрунті до 10 - 15% пригнічує ріст і розвиток коріння різних сільськогосподарських рослин.

За інформацією А. А. Кудрявцевої, добова потреба коріння культурних рослин у кисні для утворення 1г сухої речовини в середньому становить від 0,35мг у кукурудзи до 1,56мг у гороху. В залежності від фази розвитку рослин їх потреба в кисні, найбільше поглинання на етапі проростання насіння, але при пониженні вмісту кисню до 6—7% різко знижується енергія проростання.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ

Забрудненість повітря впливає на ріст та розвиток рослин. Тому необхідність моніторингу повітря забезпечить стабільний розвиток рослин. В умовах теплиці моніторинг вмісту води, температури повітря, світла та забрудненості повітря є важливим. Повітря яке циркулює забезпечує розвиток рослин. Моніторинг повітря в теплиці є одним із важливих аспектів які приведуть до успішного отримання урожаю.

Тривалий вплив промислових газів викликає значні зміни в анатомічній будові листків та хвоїнок рослин [6].

Різні види рослин по різному реагують на одну й ту ж концентрацію в повітрі токсичних газів [7].

ВИСНОВКИ

Склад повітря певною мірою впливає на ґрунтовий розчин. Ґрунтові колоїди та ґрунтові розчини утворюють складні системи, які відіграють важливу роль у процесі ґрунтоутворення. Зі збільшенням концентрації вуглекислого газу в ґрунтовому повітрі ґрунтовий розчин стає насиченим, збільшуючи розчинність солі. Це збільшує концентрацію катіонів та аніонів (зміни реакцій ґрунту). Зміни концентрації певних іонів у ґрунтовому розчині неминуче порушують рівновагу між поглинаючим колоїдним комплексом та ґрунтовим розчином [6, 7].

Тому забруднення повітря призводить до фенотипічного порушення, змін у зростанні та розвитку органів рослин та анатомії рослин. Рослинно-органічні процеси: Пригнічення росту та розвитку рослин, включаючи фотосинтез,

дихання, мейоз, мітоз та утворення мікроспори, призводить до поганої рослинності та цілісності екосистем [6, 7].

Отже, моніторинг повітря попередить будь-які зміни в рослинах. Забезпечуючи урожайність культур з мінімальною втратою.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Анисимова Г.М., Лянгузова И.В., Шамров И.И. Влияние условий загрязнения окружающей среды на репродукцию растений // Эмбиология цветковых растений. Терминология и концепции. Т.3. / Под ред. Батыгиной Т.Б. – СПб.: Мир и семья, 2000. – С. 532–536.
- [2] Дзюба О.Ф., Яковлева Т.Л., Кудрина А.Н., Тарасевич В.Ф. Пыльца как модель для контроля качества мужской генеративной сферы растений, животных и человека в условиях промышленных центров и крупных городов // Актуальные проблемы палинологии на рубеже третьего тысячелетия: IX Всерос. палинол. конф. – М.: Изд-во ИГиРГИ, 1999. – С. 61–79.
- [3] Аугустайтис А.А. Закономерности роста сосновых древостоев при различном уровне загрязнения природной среды: автореф. дисс. канд. биол. наук. – М., 1992. – 22 с.
- [4] Каминская Д. Фокус Киотского протокола / Д. Каминская // Обзор украинского рынка. – 2005. – № 4. – С. 25–29.
- [5] Manning W.J., Feder W.A. Biomonitoring air pollutants with plants. – London: Applied Sci. Publ. LTD, 1980. – 142 p.
- [6] Collectedpapers / Грунтове повітря та його склад – Режим доступа: https://collectedpapers.com.ua/soil_science/gruntove-povitrya-ta-jogo-sklad 2013 – 2020 pp.
- [7] Забруднення довкілля / Навчальні матеріали онлайн- Режим доступа: https://pidruchniki.com/68995/ekologiya/zabrudnennya_dovkillya 2010 - 2020 pp.

Наук. керівник – д.т.н., проф. Защенко Н. М.

ДОДАТОК Г

Стаття «Контроль запиленості повітря за опомогою мобільного додатку»

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»ПРИЛАДОБУДІВНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ МЕНЕДЖМЕНТУ І МАРКЕТИНГУ*Інженерна Компанія*
ТЕХНОПОЛІС*XV Всеукраїнська науково-практична конференція студентів,
аспірантів та молодих вчених***"ЕФЕКТИВНІСТЬ ІНЖЕНЕРНИХ РІШЕНЬ
У ПРИЛАДОБУДУВАННІ"**10-11 грудня 2019 р.
м. Київ, Україна**Збірник праць конференції**

КИЇВ 2019

УДК 621:537

Загальною метою конференції є спілкування студентів та аспірантів з питань ефективності перспективних розробок, нових рішень в приладобудуванні. Збірка містить 136 статей за результатами наукових та практичних досліджень з актуальних проблем автоматизації та приладобудування. Розраховано на аспірантів та студентів старших курсів з спеціальностей «Автоматизація та приладобудування» і «Метрологія та інформаційно-вимірвальна техніка».

Адреса Оргкомітету конференції:
03056, Київ-56, пр. Перемоги, 37, корпус 1, Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського", Приладобудівний факультет, 1720.

Рекомендовано до публікації на засіданні Організаційного комітету конференції та Вченої Ради ПБФ КПІ ім. Ігоря Сікорського (протокол №10/19 від 25.11.2019 р.).

Відповідальний редактор – С.Л. Лакоза – к.т.н., доц.
Матеріали представлені в авторській редакції.

ISBN 978-611-01-1689-3

Збірник праць XV Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених "ЕФЕКТИВНІСТЬ ІНЖЕНЕРНИХ РІШЕНЬ У ПРИЛАДОБУДУВАННІ", 10-11 грудня 2019 р. — К.: ПБФ, КПІ ім. Ігоря Сікорського, Центр учбової літератури. – 2019. – 546 с.

Видано на замовлення Приладобудівного факультету Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського".

УДК 551.501

*В.І. Артемчук, студентка гр. ПН-91мп, Б.І. Мединцев студент гр. ПН-81мп
КПІ ім. Ігоря Сікорського*

КОНТРОЛЬ ЗАПИЛЕНОСТІ ПОВІТРЯ ЗА ДОПОМОГОЮ МОБІЛЬНОГО ДОДАТКУ

***Анотація.** У даній статті доведено актуальності контролю запиленості повітря з застосуванням мобільного додатку для швидкісного інформування про стан запиленості повітря з можливістю встановлення додаткових параметрів. Надає візуалізовану інформацію користувачу та допомогу орієнтуватись в сучасному інформаційному просторі шляхом моніторингу екологічної ситуації.*

***Ключові слова:** забрудненість повітря, моніторинг повітря.*

ВСТУП

Стан повітря – найважливіший природний ресурс, без якого життя було б абсолютно неможливим. Забрудненість повітря є глобальною проблемою, що завдає непоправної шкоди здоров'ю людини та знищує флору та фауну планети. Через забруднене повітря від захворювань дихальних шляхів у світі щорічно помирає близько семи мільйонів людей.

Наявність виробничих процесів та великої кількості викидів різних часток пилу в повітря є актуальною проблемою країни. Велике значення має антропогенний фактор. Адже, виробничі процеси, призводять до вивільнення частинок пилу. Одним із чинників збільшення пилового забруднення є автотранспорт, який вивільняє під час згорання палива тверді частинки в атмосферу, які осідають разом із газами, на довколишні об'єкти.

У містах спостерігається збільшення конденсації формальдегіду та азоту зафіксовано утворення стійких атмосферних утворень – смогів. Через відсутність системи оповіщення, людина піддається впливу шкідливого повітря, без змоги захистити себе.

Небезпечні речовини знаходяться у формі твердих або рідких аерозольних часток, газів, парів або випарів. Чим менше розмір частинок пилу, тим довше вони знаходяться в повітрі у зваженому стані і тим вище ймовірність того, що вони проникнуть в легені. [1]

Дуже небезпечні дрібнодисперсні частинки пилу, які здатні проникнути в легені і, маючи велику площу контакту з тканиною легень, здатні швидко у великій кількості всмоктуватися, викликаючи інтоксикацію організму. Ураження верхніх відділів дихального апарату пилом пов'язують з наявністю в ньому ліберину і гістаміну, які спричиняють вивільнення медіаторів запалення з тканинних базофілів і виникнення реакції запалення не імунної форми (атопічної). Основним чинником дії пилу на організм є хімічний вміст пилових часток, таких елементів, як свинець марганець, фтор, а також токсичних органічних сполук, що надає пилу властивості виробничої отрути. Залежно від своїх фізико-хімічних властивостей пил спричиняє алергенну, мутагенну, канцерогенну і подразнюючу дію, а також призводить до радіоіндукційного ефект.[1]

Відсутність портативного онлайн ресурсу та візуалізації інформації, для повідомлення людей про небезпеку. Та внаслідок відсутності моніторингу

вимірювання забрудненості ускладнюються щоденне зведення статистичних даних.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ

Якість повітря у виробничих, офісних, житлових приміщеннях, громадських місцях та місцях великого скупчення людей повинна відповідати законодавчо встановленим санітарно-гігієнічним нормам країни. Контроль рівня забрудненості повітря є не просто необхідністю, а запорукою збереження здоров'я і життя людей. Тому, необхідний постійний моніторинг якості повітря. За допомогою мобільного додатку, користувач має змогу візуалізувати інформацію та за допомогою функцій фільтрувати дані.

ВИРІШЕННЯ ПРОБЛЕМ

В останні роки зростає забруднення повітря, в зв'язку з розширенням осередків промисловості, з автоматизацією, механізацією багатьох сфер нашого життя. Вплив шкідливих речовин, що потрапляють у повітря, може посилити їх взаємодію між собою, накопиченням, довготривалістю знаходження в повітрі, сприятливими для цього метеоумовами та іншими факторами.

Спостереження високої щільності населення, збільшення заводів і фабрик, великого потоку транспорту, у таких районах, забрудненість повітря особливо зростає. При збільшенні забруднення повітря, багато людей страждає від головного болю, подразнення носоглотки та очей, нудоту й погіршення самопочуття.

Тому, для поінформування більшості людей, пропонуємо використовувати мобільний додаток. Отже, мобільний сегмент ринку, активно розвивається. Мобільні пристрої використовують не тільки для сервінгу в Інтернеті, але й для оплати, покупок, відстежування міського транспорту.

Мобільний додаток інструмент прямої взаємодії із користувачем, та оптимально підходить для частого і багаторазового використання. Використовуючи мобільний додаток можна збирати безліч корисної інформації для подальшого аналізу.

Використання мобільного додатку для отримання контролю запиленості повітря, дозволяє забезпечити зручність у використанні, спростити час моніторингу, швидкість отримання інформації, та пошуку її.

ВИСНОВОК

Сьогодні проблема забрудненості повітря є однією з актуальних. Одним із негативних факторів, який погіршує умови, є пил, який не найкраще впливає на внутрішні органи та центральну нервову систему людей, сприяючи виникненню та інтенсивному протіканню захворювань.

Моніторинг запиленості повітря за допомогою мобільного додатку, дозволить отримувати дані про стан повітря, та створювати безліч цікавої статистики, яку потім можна використати в будь яких цілях.

Використання мобільного додатку користувачеві надає ряд переваг. Не витрачається час на знаходження відповідного ресурсу для отримання

інформації про стан повітря. Швидке зібрання інформації, встановлення додаткових параметрів при необхідності. Поінформованість стану повітря в необхідний для користувача час. Збереження даних для подальшого використання та порівняння.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Н.В. Защепкіна Н.Р. Терентьева, «Розробка та контроль якості матеріалів для захисту людини від дії пилу», //Вісник Хмельницького національного університету - № 2, с.221-223, 2016.
- [2] Защепкіна Н.М. Захист органів дихання людини від негативного впливу навколишнього середовища / Н.М. Защепкіна, Н.Р. Терентьева // Вісник Житомирського державного технічного університету. – 2014 – № 3(70). – С. 109–112.
- [3] Бахарев В.С. Теоретичні аспекти формування регіональної екологічної небезпеки, пов'язаної з пиловим забрудненням атмосферного повітря / В.С. Бахарев // Вісник КДПУ : зб. наук. праць. – Кременчук : Вид-во КДПУ. – 2005. – № 2(31). – С. 92-95
- [4] Бахарев В.С. Особливості формування екологічної небезпеки в умовах пилового забруднення атмосферного повітря / В.С. Бахарев // Біосферно-ноосферні ідеї В.І. Вернадського та еколого-економічні проблеми розвитку регіонів : тези доп. V-ої Всеукр. наук.-практ. конф. – Кременчук : Вид-во КДПУ, 2005. – С. 85-86.
- [5] Защепкіна Н.М. Удосконалення методу визначення пилопроникності матеріалів / Защепкіна Н.М. Мелконян А.А.Довгалоук Р.Ю Недобойко С.О. //Вісник Житомирського державного технічного університету.– № 1(79).- 2017.-С. 52-57. 10
- [6] Защепкіна Н.М. Інженерні методи проектування заданих властивостей матеріалів/ Монографія. ТОВ «Нілан-ЛТД». - Вінниця.–2016.– 207с

Наук. керівник – д.т.н., проф. Защепкіна Н.М.